

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-009004

(43)Date of publication of application : 11.01.2002

(51)Int.Cl.

H01L 21/205

H01L 33/00

H01S 5/223

H01S 5/343

(21)Application number : 2000-347669

(71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD

(22)Date of filing : 15.11.2000

(72)Inventor : KIDOGUCHI ISAO
ISHIBASHI AKIHIKO
SUGAWARA TAKESHI
TSUJIMURA AYUMI
BAN YUZABURO
SUZUKI MASAKATSU
KUME MASAHIRO
MIYANAGA RYOKO
MORITA KIYOYUKI
HASEGAWA YOSHITERU

(30)Priority

Priority number : 11324010

Priority date : 15.11.1999

Priority country : JP

11367169

24.12.1999

JP

11369834

27.12.1999

JP

2000018407

27.01.2000

JP

2000025931

03.02.2000

JP

2000048824

25.02.2000

JP

2000120760

21.04.2000

JP

2000120761

21.04.2000

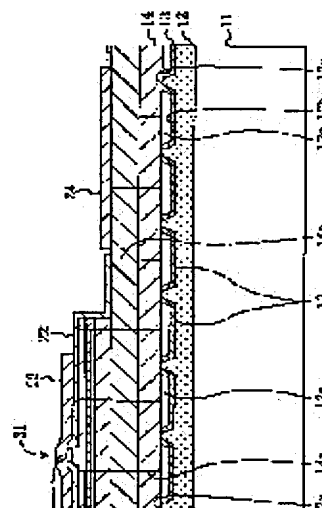
JP

(54) METHOD OF MANUFACTURING NITRIDE SEMICONDUCTOR, NITRIDE SEMICONDUCTOR DEVICE, METHOD OF MANUFACTURING THE SAME SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING DEVICE AND ITS MANUFACTURING METHOD

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve a nitride semiconductor formed through an ELOG method in crystallinity, to enable a resonator to have a large light confining coefficient, to form the resonator whose edge face is reduced in mirror loss, and to easily align a mask for forming a ridge.

SOLUTION: A GaN seed layer 12 for ELOG is formed on a sapphire substrate 11 through the intermediary of a low-temperature GaN buffer layer, and stripe-shaped protuberant parts 12a extending in the plane direction of the substrate and separating from one another by a certain space are provided to the upper part of the GaN seed layer 12. In succession, a silicon nitride film 13 is



formed on the bases and wall surfaces of recessed parts 12b each interposed between the protuberant parts 12a, and then a GaN selection growth layer 14 is formed above the seed layer 12, coming into contact with the protuberant parts 12a so as to form air gaps between its under surface and the bases of the recessed parts 12b.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 24.07.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3571641

[Date of registration] 02.07.2004

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

【請求項18】 前記高熔点金属又は高熔点金属化合物は、タングステン、モリブデン、ニオブ、タングステンシサイド、モリブデンシサイド又はニオブシリサイドであることを特徴とする請求項17に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項19】 基板上に第1の窒化物半導体層を形成する工程と、

前記第1の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の溝部を形成する工程と、前記溝部の底面とその両面の少なくとも一部とを覆うマスク膜を形成する工程と、

前記第1の窒化物半導体層の上部における前記各溝部同士の間隙に前記マスク膜から露出する領域を種結晶として、基板側から、第2の窒化物半導体層と、該第2の窒化物半導体層よりもエネルギーギャップが小さい第3の窒化物半導体層からなる活性層と、該活性層よりもエネルギーギャップが大きい第4の窒化物半導体層とを含むように積層体を成長する工程と、

前記積層体の上部に、前記活性層内にキャリアを選択的に注入する電流装置部を形成する工程とを備えていることを特徴とする窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項20】 前記複数の溝部を形成する工程は、前記第1の窒化物半導体層の上部に、該第1の窒化物半導体層をストライプ状に覆うレジストマスクを形成し、形成したレジストマスクを用いて前記第1の窒化物半導体層に対してエッチングを行なう工程を含み、

前記レジストマスクを形成する工程は、前記レジストマスクをリフトオフする工程を含むことを特徴とする請求項19に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項21】 前記マスク膜は誘電体からなることを特徴とする請求項19に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項22】 前記誘電体は、酸化シリコン、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、酸化アルミニウム、酸化アルミニウム、酸化チタン、酸化ジルコニウム又は酸化ニオブであることを特徴とする請求項21に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項23】 前記マスク膜は、電子マイクロトン共鳴プラズマを用いて形成することを特徴とする請求項21に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項24】 前記マスク膜は、電子マイクロトン共鳴スパッタ法を用いて形成することを特徴とする請求項21に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項25】 前記マスク膜は高熔点金属又は高熔点金属化合物からなることを特徴とする請求項19に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項26】 前記高熔点金属又は高熔点金属化合物は、タングステン、モリブデン、ニオブ、タングステンシサイド、モリブデンシサイド又はニオブシリサイドであることを特徴とする請求項25に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項27】 基板の上部に、基板面方向に互いに並行して延びる複数の凸部の頂面に、Al_xGa_{1-x}In_zN_{1-z}（但し、x、y、zは、0≦x、y、z≦1、x+y+z=1である。）からなる窒化物半導体層を選択的に成長する工程とを備えていることを特徴とする窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項28】 前記基板は窒化物半導体からなり、前記凸部を形成する工程と前記窒化物半導体層を成長する工程との間に、

互いに隣接する前記凸部同士に挟まれてなる凹部の底面を覆う、誘電体、高熔点金属又は高熔点金属化合物からなるマスク膜を形成する工程をさらに備えていることを特徴とする請求項27に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項29】 基板の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の溝部の溝部を形成する工程と、

前記基板の上部における前記各溝部同士の間隙に、該第1の窒化物半導体層よりもエネルギーギャップが小さい第2の窒化物半導体層からなる活性層と、該活性層よりもエネルギーギャップが大きい第3の窒化物半導体層とを含むように積層体を成長する工程と、

前記積層体の上部に、前記活性層内にキャリアを選択的に注入する電流装置部を形成する工程とを備えていることを特徴とする窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項30】 前記積層体を成長する工程は、前記溝部の底面及び壁面と、前記積層体における前記溝部の対向面とにより囲まれてなる複数の空腔部を形成する工程を含むことを特徴とする請求項29に記載の半導体素子の製造方法。

【請求項31】 前記積層体を成長する工程は、前記積層体を前記基板上にバンプア層を介在させることなく成長させることを特徴とする請求項29に記載の半導体素子の製造方法。

【請求項32】 基板上に順次形成され、第1の窒化物半導体層、該第1の窒化物半導体層よりも光の屈折率が大きい第2の窒化物半導体層からなる活性層及び該活性層よりも光の屈折率が小さい第3の窒化物半導体層を含む積層体と、

前記積層体の上部に形成され、前記活性層内にキャリアを選択的に注入する電流装置部とを備え、

前記活性層における前記電流装置部の下方で且つ前記活性層と前記基板との間の領域に空腔部が形成されていることを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項33】 前記空腔部の上部には、前記第1の窒化物半導体層の光の屈折率よりも小さいか又は同等の屈折率を持つ第4の窒化物半導体層が形成されていることを特徴とする請求項32に記載の窒化物半導体素子。

【請求項34】 基板上に形成され、上部に互いに間隔

をおいて基板面方向に延びる複数の凸部の頂面に、Al_xGa_{1-x}In_zN_{1-z}（但し、x、y、zは、0≦x、y、z≦1、x+y+z=1である。）からなる窒化物半導体層を選択的に成長する工程とを備えていることを特徴とする窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項35】 前記凸部同士の間隙に形成され、前記第2の窒化物半導体層の光の屈折率よりも小さい屈折率を持つ低屈折率領域を有していることを特徴とする請求項34に記載の窒化物半導体素子。

【請求項36】 前記低屈折率領域は空腔部であることとを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項37】 前記第2の窒化物半導体層と前記第3の窒化物半導体層の光の屈折率よりも小さい屈折率を持つ低屈折率領域を有していることを特徴とする請求項36に記載の窒化物半導体素子。

【請求項38】 前記第2の窒化物半導体層は組成にアルミニウムを含んでおり、

前記第2の窒化物半導体層と前記第3の窒化物半導体層の間に形成され、前記第2の窒化物半導体層又は前記第3の窒化物半導体層の光の屈折率よりも小さいか又は同等の屈折率を持つ超格子構造を有し、

上面が電極と被覆する第6の窒化物半導体層をさらに備えていることを特徴とする請求項34に記載の窒化物半導体素子。

【請求項39】 前記第2の窒化物半導体層は組成にアルミニウムを含んでおり、

前記第2の窒化物半導体層と前記第3の窒化物半導体層の間に形成され、アルミニウムの組成が前記第2の窒化物半導体層のアルミニウムの組成よりも小さい複数の第6の窒化物半導体層をさらに備えていることを特徴とする請求項34に記載の窒化物半導体素子。

【請求項40】 基板上に第1の窒化物半導体層を形成する工程と、

前記第1の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の溝部を形成する工程と、前記溝部の底面を覆うマスク膜を形成する工程と、

前記第1の窒化物半導体層の上部における前記各溝部同士の間隙に前記マスク膜から露出するC面を種結晶とし、

基板側から、第2の窒化物半導体層と、第3の窒化物半導体層と、該第3の窒化物半導体層よりも光の屈折率が大きい第4の窒化物半導体層からなる活性層と、該活性層よりも光の屈折率が小さい第5の窒化物半導体層とを含むように積層体を成長する工程と、

前記積層体の上部に、前記活性層内にキャリアを選択的に注入する電流装置部を形成する工程とを備え、

前記積層体における前記電流装置部の下方で且つ前記活性層と前記基板との間の領域に空腔部が形成されていることを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項41】 前記空腔部の上部には、前記第1の窒化物半導体層の光の屈折率よりも小さいか又は同等の屈折率を持つ第4の窒化物半導体層が形成されていることを特徴とする請求項40に記載の窒化物半導体素子。

【請求項42】 基板上に形成され、上部に互いに間隔

【請求項40】 前記積層体を成長する工程は、前記第2の窒化物半導体層の組成がアルミニウムを含む場合に、

前記第1の窒化物半導体層と前記第2の窒化物半導体層との間に、アルミニウムの組成が前記第2の窒化物半導体層のアルミニウムの組成よりも小さい複数の第6の窒化物半導体層を前記凸部の頂面とその近傍のみとを覆うように形成する工程を含むことを特徴とする請求項39に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項41】 前記積層体を成長する工程は、前記第2の窒化物半導体層と前記第3の窒化物半導体層との間に、前記第2の窒化物半導体層又は前記第3の窒化物半導体層の光の屈折率よりも小さいか又は同等の屈折率を持つ超格子構造を有する第6の窒化物半導体層を形成する工程を含むことを特徴とする請求項39に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項42】 前記複数の溝部を形成する工程は、前記第1の窒化物半導体層の上部に、該第1の窒化物半導体層をストライプ状に覆うレジストマスクを形成し、形成したレジストマスクを用いて前記第1の窒化物半導体層に対してエッチングを行なう工程を含み、

前記レジストマスクを形成する工程は、前記レジストマスクをリフトオフする工程を含むことを特徴とする請求項39に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項43】 前記マスク膜は誘電体からなることを特徴とする請求項39に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項44】 前記誘電体は、酸化シリコン、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、酸化アルミニウム、酸化アルミニウム、酸化チタン、酸化ジルコニウム又は酸化ニオブであることを特徴とする請求項43に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項45】 前記マスク膜は、電子マイクロトン共鳴プラズマを用いて形成することを特徴とする請求項43に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項46】 前記マスク膜は、電子マイクロトン共鳴スパッタ法を用いて形成することを特徴とする請求項43に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項47】 前記マスク膜は高熔点金属又は高熔点金属化合物からなることを特徴とする請求項43に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項48】 前記高熔点金属又は高熔点金属化合物は、タングステン、モリブデン、ニオブ、タングステンシサイド、モリブデンシサイド又はニオブシリサイドであることを特徴とする請求項47に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項49】 基板上に第1の窒化物半導体層を形成

【請求項101】 前記マスク膜は、電子サイクロトロ
ン共鳴スパッタ法を用いて形成することを特徴とする請
求項98に記載の半導体発光素子の製造方法。
【請求項102】 前記マスク膜は高融点金属又は高融
点金属化合物であることを特徴とする請求項96に記載の
半導体発光素子の製造方法。

【請求項103】 前記高融点金属又は高融点金属化合物
は、タンダステン、モリブデン、ニオブ、タンダステン
シリサイド、モリブデンシリサイド又はニオブシリサイ
ドであることを特徴とする請求項102に記載の半導体
発光素子の製造方法。

【請求項104】 基板上に第1の窒化物半導体層を形
成する工程と、
前記第1の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互い
に間隔をおいて延びる複数の溝部を形成する工程と、
前記溝部の底部とその壁面の少なくとも1部とを覆うマ
スク膜を形成する工程と、
前記第1の窒化物半導体層の上部における前記各溝部同士
の間に前記マスク膜から露出する領域を種植として、

基膜から、第2の窒化物半導体層と、該第2の窒化物
半導体層よりもエネルギーギャップが小さい第3の窒化物
半導体層からなる活性層と、該活性層よりもエネルギーガ
ップが大きい第4の窒化物半導体層とを含むよう
に積層体を成長する工程と、

前記積層体の上部に、前記溝部が延びる方向と同一且
つ前記溝部同士の間隔と異なる間隔をおいて延びる
複数の凸部を形成する工程と、
前記複数の凸部のうち、前記溝部の上方で且つ前記溝部
同士との間の領域の近傍に位置する凸部を選択し、選択し
た凸部に、前記活性層にキャリアを注入するキャリア注
入部を形成する工程とを備えていることを特徴とする半
導体発光素子の製造方法。

【請求項105】 前記複数の溝部を形成する工程は、
前記第1の窒化物半導体層の上部に、該第1の窒化物半導
体層をストライプ状に覆うレジストマスクを形成し、形
成したレジストマスクを用いて前記第1の窒化物半導体
層に対してエッチングを行なう工程を含み、
前記マスク膜を形成する工程は、前記レジストマスクを
リフトオフする工程を含むことを特徴とする請求項10
4に記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項106】 前記マスク膜は誘電体からなること
を特徴とする請求項104に記載の半導体発光素子の製
造方法。

【請求項107】 前記誘電体は、酸化シリコン、酸化
シリコン、酸化窒化シリコン、酸化アルミニウム、酸化
酸化アルミニウム、酸化チタン、酸化ジルコニウム又は
酸化ニオブであることを特徴とする請求項106に記載
の半導体発光素子の製造方法。

【請求項108】 前記マスク膜は、電子サイクロトロ
ン共鳴プラズマを用いて形成することを特徴とする請求

項106に記載の半導体発光素子の製造方法。
【請求項109】 前記マスク膜は、電子サイクロトロ
ン共鳴スパッタ法を用いて形成することを特徴とする請
求項106に記載の半導体発光素子の製造方法。
【請求項110】 前記マスク膜は高融点金属又は高融
点金属化合物であることを特徴とする請求項104に記載
の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項111】 前記高融点金属又は高融点金属化合物
は、タンダステン、モリブデン、ニオブ、タンダステン
シリサイド、モリブデンシリサイド又はニオブシリサイ
ドであることを特徴とする請求項110に記載の半導体
発光素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】 発明の属する技術分野 本発明は光情報処理分野等へ
の応用が期待される短波長半導体レーザ素子等に用いる
窒化物半導体の製造方法、並びに該窒化物半導体を用い
た半導体素子、半導体発光素子及びその製造方法に関す
る。

【0002】 従来の技術 近年、V族元素と窒素 (N) を含むIII-
V族化合物からなる窒化物半導体は、そのエネルギーギ
ャップの大きさから、短波長発光素子の材料として有望
視されている。なかでも、窒化ガリウム系化合物半導体
(Al_xGa_{1-x}In_zN (0 ≤ x, y, z ≤ 1, x+y+z=1)) は、その結果、青色又は緑色発光ダイオード (LED)
素子が実用化されるに至っている。また、光ディ
スク装置の大容量化に伴って、発光波長が400nm程度
の半導体レーザ素子が熱望されており、窒化ガリウム系
半導体を用いた半導体レーザ素子が実用レベルに達し
つつある。

【0003】 (第1の従来例) 以下、第1の従来例に係
る窒化ガリウム系半導体レーザ素子について図面を参照
しながら説明する。

【0004】 図37はレーザ発振が達成されている従来
の窒化ガリウム系半導体レーザ素子の断面構成を示して
いる。図37に示すように、従来の半導体レーザ素子
は、サブファイアからなる基板301の上部に、例えば有機
金属窒化物成長 (MOVPE) 法により順次形成された、
窒化ガリウム (GaN) からなるパッド層302、n
型窒化ガリウム (AlGaN) からなるn型コンタクト層303、n型窒化ア
ルミニウムガリウム (AlGaIn) からなるn型クラッ
ド層304、n型GaNからなるn型ガイド層305、
インジウム組成が異なる窒化ガリウムインジウム
(Ga_{1-x}In_xN/Ga_{1-y}In_yN (但し、0 < y < x < 1)) が積層されてなる多重量子井戸 (MQW) 活
性層306、p型GaNからなるp型光ガイド層307、
7、p型AlGaNからなるp型クラッド層308、及
びp型GaNからなるp型コンタクト層309を有して

いる。

【0005】 p型クラッド層308の上部及びp型コン
タクト層309には、層が3nm〜10nm程度のリッ
グ部が形成されている。MQW活性層306を含む積層
体は、n型コンタクト層303の一部を露出するように
エッチングされており、エッチングされた積層体の上面
及び側面は絶縁膜310により覆われている。絶縁膜3
10におけるp型コンタクト層303の上面部分にはス
トラライク状の開口部が設けられ、絶縁膜310のリッ
グの上には該開口部を通してp型コンタクト層309と
オーミック接合するp型電極311が形成されている。
また、n型コンタクト層303の絶縁膜310からの露
出部分の上にはn型コンタクト層303とオーミック接
触するn型電極312が設けられている。

【0006】 このように形成された半導体レーザ素子に
おけるn型電極312を接地し、p型電極311に所定
電圧を印加すると、MQW活性層306内で光増倍を起
生して、発光波長が400nm程度のレーザ発振を起
す。

【0007】 レーザ光の発振波長は、MQW活性層30
6を構成するGa_{1-x}In_xN及びGa_{1-y}In_yNの
組成又は層間によって変化する。現在、室温以上の連
続発振が実現されている。

【0008】 また、リッグ部の幅又は高さを調節するこ
とによって、水平方向 (基板面に平行) の線モードにお
ける基本モードのレーザ発振を可能としている。すなわ
ち、基本モードと1次以上の高次モードとの光の閉じ
込め係数値に差を設けることにより、基本モードにお
ける発振を可能としている。

【0009】 基板301は、サブファイアの他に、酸化
ケイ素 (SiC) やネオジウムガレート (NdGa
O₃: Neodymium gallate) 等が用いられるが、いずれの
材料も窒化ガリウムと格子整合を行なえず、コヒーレン
トな成長を得ることが難しい。その結果、刃状転位、ら
せん転位又は異相の転位が混合した混合転位が多く、例
えば基板にサブファイアを用いた場合には、約1×10⁹
cm⁻²の転位が存在して、半導体レーザ素子の信頼性の
低下を引き起こす。

【0010】 そこで、転位密度を低減する方法として、
選択的方位成長 (epitaxial lateral
overgrowth: ELOG) 法が提案されて
いる。これは格子不整合が大きい半導体結晶において、
貫通転位を低減させる方法として有効である。
【0011】 (第2の従来例) 図38はELOGによ
って形成された窒化ガリウムからなる半導体層の結晶転位
の分布を模式的に表わしている。

【0012】 図38を用いてELOG法の概略を説明す
ると、まず、MOVPE法等により、サブファイアからな
る基板401上にGaNからなるシード (種) 層402
を成長させる。

【0013】 次に、化学的気相堆積 (CVD) 法等によ
り、酸化シリコン等からなる誘電体膜を堆積した後、フ
ォトリソグラフィ法及びエッチング法とによって、堆積
した誘電体膜から、所定開口のストライプ状の開口パタ
ーンを持つマスク膜403を形成する。

【0014】 次に、MOVPE法又はハライド気相成長
(HIVPE) 法により、マスク膜403の上にシード層
402のマスク膜303から露出した部分を種結晶とす
る選択成長によってGaNからなる半導体層404を成
長させる。

【0015】 このとき、半導体層404におけるマスク
膜403の開口部の上部の領域は、転位密度が約1×10⁹
cm⁻²程度の低転位密度領域404aとなるもの
の、マスク膜403上でラテラル成長した領域は転位密
度が1×10⁷cm⁻²程度の低転位密度領域404bを
得られる。

【0016】 図39はこの低転位密度領域404bの上
方に活性領域、すなわち電流注入領域となるリッグ部を
形成した半導体レーザ素子の断面構成を示している。図
39において、図37及び図38に示す構成部材と同一
の構成部材には同一の符号を付している。

【0017】 このように、MQW活性層306における
低転位密度領域404bの上方に電流注入領域を設ける
ことにより、レーザ素子の信頼性の向上を図ることができ
る。

【0018】

【発明が解決しようとする課題】 本発明者らは、種々
検討を行なった結果、前記の第1の従来例及び第2の従
来例に係る半導体レーザ素子には、以下に述べるような
様々な問題があることを見出し、
【0019】 第1に、第2の従来例に係るELOG法に
よる窒化物半導体の成長方法に対する問題点を説明す
る。

【0020】 図40 (a) ~図40 (d) は半導体層4
04の成長時にマスク膜403上に窒化ガリウムの多結
晶体405が析出して、半導体層404の結晶性が劣化
する様子を模式的に表わしている。

【0021】 具体的に、図40 (a) に示すように、
まず、シード層402の上面に開口部を持つマスク膜4
03を形成しておき、次に、図40 (b) に示すよう
に、シード層402におけるマスク膜403の各開口部
から露出する領域を種結晶として複数の半導体層404
をそれぞれ成長させる。このとき、マスク膜403は誘
電体からなり、誘電体上では結晶化されない複数の多
結晶体405が析出することがある。

【0022】 次に、図40 (c) 及び図40 (d) に示
すように、多結晶体405が析出した状態で、複数の半
導体層404が一体化してその表面が平坦化されるまで成
長し続けると、多結晶体405の上には結晶性が悪い領
域404cが形成される。

【0023】本願発明者らは、この結晶性が悪い領域404の上方に電流注入領域を形成しても良好な特性を持つレーザ素子を得て得ることはできないという知見を得ている。

【0024】第2に、第1及び第2の従来例に係る半導体レーザ素子では、活性層の基板面に対して垂直な方向の光の閉じ込め係数値を大きくすることが困難であるという問題点を呈出している。

【0025】図41は、第1の従来例に係る半導体レーザ素子における、MQW活性層306における基板面に対して垂直な方向の出力率分布と、共振器端面での光強度分布との関係を示している。MQW活性層306に閉じ込められた生光の一部が基板301に漏れ出して、n型コンタクト層303に定在波が生成していることが分かる。このように、MQW活性層306から基板301への生光の漏れが多いと、MQW活性層306への光の閉じ込め率が低下し、レーザ光の増ばしきい値が大きくなる。

【0026】また、図42は第1の従来例に係るレーザ葉子の遠視野像を示している。ここで、傾斜（基板面方向）における共振器端面の法線方向からの水平方向（図41の右側）を表わし、縦軸は出射光の光強度を表わしている。第1の従来例のように基板301側への生成光の漏れが多いと、車輪状の遠視野像を得ることも困難となる。これは、第2の従来例に係る半導体レーザ素子において、同様に、

【0027】第3に、第1の従来例に係る半導体レーザチップは、ウェハ状態で形成された複数のレーザ素子を、基板より上方へ露出させた状態で形成する。この場合、レーザ素子の開口部が、基板表面から露出している状態である。一方、本発明に係る半導体レーザチップは、レーザ素子の開口部が、基板表面から露出していない状態である。すなわち、図4Aに示すように、基板301を構成するサブファイアの上面が(1-100)面の、いわゆるM面であり、その開口が容易であつたため、通常はサブファイアのM面をへき開面としている。

【0028】ところが、窒化ガリウム層、例えば、窒化ガリウムのM面はサブファイアのM面と内面で30度だけずれているため、サブファイアのN面と窒化ガリウムの(1-1-20)面、いわゆるA面が一致する。このため、基板301をへき開するとサブファイア層302及びその上の積層膜には、基板301とへき開面が30度だけずれたへき開面が、段差が数百nmの凸凹面となつて現れ、

【0029】共振器端面がこのような凹凸面となると、共振器端面によるレーザ光のミラージュ損失が増大するため、半導体レーザ素子の動作電流が増大し、ひいては信頼性は悪化する。さらに、共振器端面の凹部及び凸部は無反射に異性するため、所定の反射率を有する共振器端面を再現性良く形成することが困難となり、歩留まりが低下する。なお、共振器の形成に、へき開法は使用できない。

1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025, 2026, 2027, 2028, 2029, 2030, 2031, 2032, 2033, 2034, 2035, 2036, 2037, 2038, 2039, 2040, 2041, 2042, 2043, 2044, 2045, 2046, 2047, 2048, 2049, 2050, 2051, 2052, 2053, 2054, 2055, 2056, 2057, 2058, 2059, 2060, 2061, 2062, 2063, 2064, 2065, 2066, 2067, 2068, 2069, 2070, 2071, 2072, 2073, 2074, 2075, 2076, 2077, 2078, 2079, 2080, 2081, 2082, 2083, 2084, 2085, 2086, 2087, 2088, 2089, 2090, 2091, 2092, 2093, 2094, 2095, 2096, 2097, 2098, 2099, 2100, 2101, 2102, 2103, 2104, 2105, 2106, 2107, 2108, 2109, 2110, 2111, 2112, 2113, 2114, 2115, 2116, 2117, 2118, 2119, 2120, 2121, 2122, 2123, 2124, 2125, 2126, 2127, 2128, 2129, 2130, 2131, 2132, 2133, 2134, 2135, 2136, 2137, 2138, 2139, 2140, 2141, 2142, 2143, 2144, 2145, 2146, 2147, 2148, 2149, 2150, 2151, 2152, 2153, 2154, 2155, 2156, 2157, 2158, 2159, 2160, 2161, 2162, 2163, 2164, 2165, 2166, 2167, 2168, 2169, 2170, 2171, 2172, 2173, 2174, 2175, 2176, 2177, 2178, 2179, 2180, 2181, 2182, 2183, 2184, 2185, 2186, 2187, 2188, 2189, 2190, 2191, 2192, 2193, 2194, 2195, 2196, 2197, 2198, 2199, 2200, 2201, 2202, 2203, 2204, 2205, 2206, 2207, 2208, 2209, 2210, 2211, 2212, 2213, 2214, 2215, 2216, 2217, 2218, 2219, 2220, 2221, 2222, 2223, 2224, 2225, 2226, 2227, 2228, 2229, 2230, 2231, 2232, 2233, 2234, 2235, 2236, 2237, 2238, 2239, 2240, 2241, 2242, 2243, 2244, 2245, 2246, 2247, 2248, 2249, 2250, 2251, 2252, 2253, 2254, 2255, 2256, 2257, 2258, 2259, 2260, 2261, 2262, 2263, 2264, 2265, 2266, 2267, 2268, 2269, 2270, 2271, 2272, 2273, 2274, 2275, 2276, 2277, 2278, 2279, 2280, 2281, 2282, 2283, 2284, 2285, 2286, 2287, 2288, 2289, 2290, 2291, 2292, 2293, 2294, 2295, 2296, 2297, 2298, 2299, 2300, 2301, 2302, 2303, 2304, 2305, 2306, 2307, 2308, 2309, 2310, 2311, 2312, 2313, 2314, 2315, 2316, 2317, 2318, 2319, 2320, 2321, 2322, 2323, 2324, 2325, 2326, 2327, 2328, 2329, 2330, 2331, 2332, 2333, 2334, 2335, 2336, 2337, 2338, 2339, 2340, 2341, 2342, 2343, 2344, 2345, 2346, 2347, 2348, 2349, 2350, 2351, 2352, 2353, 2354, 2355, 2356, 2357, 2358, 2359, 2360, 2361, 2362, 2363, 2364, 2365, 2366, 2367, 2368, 2369, 2370, 2371, 2372, 2373, 2374, 2375, 2376, 2377, 2378, 2379, 2380, 2381, 2382, 2383, 2384, 2385, 2386, 2387, 2388, 2389, 2390, 2391, 2392, 2393, 2394, 2395, 2396, 2397, 2398, 2399, 2400, 2401, 2402, 2403, 2404, 2405, 2406, 2407, 2408, 2409, 2410, 2411, 2412, 2413, 2414, 2415, 2416, 2417, 2418, 2419, 2420, 2421, 2422, 2423, 2424, 2425, 2426, 2427, 2428, 2429, 2430, 2431, 2432, 2433, 2434, 2435, 2436, 2437, 2438, 2439, 2440, 2441, 2442, 2443, 2444, 2445, 2446, 2447, 2448, 2449, 2450, 2451, 2452, 2453, 2454, 2455, 2456, 2457, 2458, 2459, 2460, 2461, 2462, 2463, 2464, 2465, 2466, 2467, 2468, 2469, 2470, 2471, 2472, 2473, 2474, 2475, 2476, 2477, 2478, 2479, 2480, 2481, 2482, 2483, 2484, 2485, 2486, 2487, 2488, 2489, 2490, 2491, 2492, 2493, 2494, 2495, 2496, 2497, 2498, 2499, 2500, 2501, 2502, 2503, 2504, 2505, 2506, 2507, 2508, 2509, 2510, 2511, 2512, 2513, 2514, 2515, 2516, 2517, 2518, 2519, 2520, 2521, 2522, 2523, 2524, 2525, 2526, 2527, 2528, 2529, 2530, 2531, 2532, 2533, 2534, 2535, 2536, 2537, 2538, 2539, 2540, 2541, 2542, 2543, 2544, 2545, 2546, 2547, 2548, 2549, 2550, 2551, 2552, 2553, 2554, 2555, 2556, 2557, 2558, 2559, 2560, 2561, 2562, 2563, 2564, 2565, 2566, 2567, 2568, 2569, 2570, 2571, 2572, 2573, 2574, 2575, 2576, 2577, 2578, 2579, 2580, 2581, 2582, 2583, 2584, 2585, 2586, 2587, 2588, 2589, 2590, 2591, 2592, 2593, 2594, 2595, 2596, 2597, 2598, 2599, 2600, 2601, 2602, 2603, 2604, 2605, 2606, 2607, 2608, 2609, 2610, 2611, 2612, 2613, 2614, 2615, 2616, 2617, 2618, 2619, 2620, 2621, 2622, 2623, 2624, 2625, 2626, 2627, 2628, 2629, 2630, 2631, 2632, 2633, 2634, 2635, 2636, 2637, 2638, 2639, 2640, 2641, 2642, 2643, 2644, 2645, 2646, 2647, 2648, 2649, 2650, 2651, 2652, 2653, 2654, 2655, 2656, 2657, 2658, 2659, 2660, 2661, 2662, 2663, 2664, 2665, 2666, 2667, 2668, 2669, 2670, 2671, 2672, 2673, 2674, 2675, 2676, 2677, 2678, 26

なくドライエッチング法を用いても同様の問題が生じる。なお、本願明細書においては、面方位の負符号¹は該負符号に続く一指数の反転を表わす。

【0030】一方、第2の従来例に係る導電性レーザエリゾ子の場合は、導電成長用のマスク膜403のストライプ形状の露出部は、半導体層404のM線と平行となるよう形成される。これはA線方向へのラチタリ成長と速度が他の方向と比べて極めて速く、短時間で均等に良く導電成長を行えるからである。このため、低抵抗密度領域404bはM線と平行となるので、低抵抗密度領域の上に形成するレーザエリゾ子の異型露出面は必然的にM面となる。その結果、基板404のA面ではき裂の必要がある。前述のように、サファイアはM面は下げるべき開ける。容易であるが、A面は下げる程容易ではないため、半導体レーザエリゾ子の歩留まりが大幅に低下するという問題がある。

【0031】第4に、ELOG法は、シード層402のC軸と、その上に選択成長する半導体層404のC軸とのなす角度(チルト)が0.1度～1度程度に存在することが知られている。

【0032】一方、ELOG法によって得られた低抵抗密度領域404bを再度低抵抗とし、高抵抗密度領域404aを別の選択技術を用いて低抵抗密度領域404bと区別を行なうと、低抵抗密度領域404bのみからなる堅固な半導体結晶を得ることができる。これにより、低抵抗密度領域404aのみからなる結晶上に絶縁層がA面の基板を形成することが可能となり、へき間に沿った歩留りを大幅に向上させることができる。

【0033】しかしながら、A軸方向に共振器を形成すると、シード層402とその上の選択成長層との間に、前述した軸のチャルトが存在する。導波路がC軸方向にジグザグ形状となる。このジグザグの導波路により、導波路損失が生じてレーザー素子の動作性能が増加するといふ問題がある。また、複数の共振器は基板面に対してそれぞれ垂直な方向に設けられる垂直共振器型の面発光レーザー素子アレイを形成するような場合には、アレイ状の共振器と各々のレーザー光の出力方向が一致しなくなるという問題がある。

【0034】第5に、前述第2の従来例に係る半導体デバイス素子は、低抵抗密度領域が $0.4\text{ } \mu\text{m}$ 同士の幅が約 $5\text{ } \mu\text{m}$ 、 m 程度と極めて小さく、その低抵抗密度領域 $0.4\text{ } \mu\text{m}$ から $4\text{ } \mu\text{m}$ 程度と極めて大きく、約 $3\text{ } \mu\text{m}$ の幅を持つ細長のフォトリソグラフィ工程における位置合わせに高い精度でトマソスの位置合わせを行なう必要がある。その結果、フォトリソグラフィ工程における位置合わせに高い精度が要求されるため、フォトリソグラフィ工程のスループットの低下や歩留まりの低下等が生じて、生産効率を向上できないという問題がある。

【0035】本発明は、前記の種々の問題に鑑みてなされ、ELOG法による結晶性の向上を図ること第1の目的とし、共振器への光の閉じ込め係数値を大きくできる

ようにすること、ミラー損失が少ないこと、共振器端面を形成できようすることを第3の目的とし、導波損失が少ない共振器を形成できるようにすること、共振器形成用のマスキの位置合わせを容易に行なうことを第5の目的とし、第4の目的とし、リソング形成用の位置合わせを容易に行なうことを第5の目的とし、これを要し、本発明は、特に光ディスク装置用レーザ素子への応用に優れた効果を奏する。

【0036】
 【課題を解決するための手段】本発明に係る第1の變化物半導体の製造方法は、前記第1の目的を達成し、基板の上に、 $Al_1Ga_{1-n}In_n$ (但し、 x, y, w は、 $0 \leq x, y, w \leq 1$ である。)からなる第1の變化物半導体層を形成する工程と、第1の變化物半導体層の上に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の凸部を形成する工程と、互いに隣接する凸部同士に接合してなる凹部の凹面を覆うマスキング層を形成する工程と、第1の變化物半導体層の上に、マスキング層から露出する凸部の頂面であるC面を結晶品として、 $Al_1Ga_{1-n}In_n$ (但し、 x, y, z は、 $0 \leq x, y, z \leq 1$ である。)からなる第2の變化物半導体層を成長させる工程とを備えている。

【0037】第1の窒化半導体の製造方法によると、第1の窒化半導体層の上面に複数の凸部を形成し、形成した凸部同士に接まれた底面をマスク膜により覆うため、第2の窒化半導体層は第1の窒化半導体層の凸部の頂面に現われたC面のみを種結晶として成長する。

その結果、マスク膜の上に第2の窒化物半導体層の多結晶体が析出したとしても、マスク膜を凸凹した面の底面上に設けているため、第2の窒化物半導体層が基底面と平行な方向に成長（ラテラル成長）する際に、多結晶体（体）の上方を成長するので、多結晶体によりその成長が妨げられなくなり、第2の窒化物半導体層の結晶性が良好となる。

【0038】本発明に係る第2の変化物半導体の製造方法は、前記第1の目的を達成し、基板上に、 $Al_0Ga_1 - \nu In_1\nu$ ($\nu \geq 1$)、 u, v, w は、 $0 \leq u, v, w \leq 1, u + v + w = 1$ である。)からなる第1の変化物半導体層を形成する工程と、第1の変化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の凸部を形成する工程と、互いに隣接する凸部同士にはまれてなる凹部の底面とその壁面の少なくとも一部を覆うマスク層を形成する工程と、第1の変化物半導体層の上部に、各凸部におけるマスク層から露出する領域を種結晶として、 $Al_1Ga_1 - \nu In_1\nu$ (ν は、 x, y, z は、 $0 \leq x, y, z \leq 1, x + y + z = 1$ である。)からなる第2の変化物半導体層を成長する工程とを備えている。

【0039】第2の窒化物半導体の製造方法によると、第2の窒化物半導体層が基板面と平行な方向に成長する際に、マスク膜の上に第2の窒化物半導体層の多結晶体を

としても、マスク膜を凸部同士の間の底面及び壁面の少なくとも一部に設けているため、第2の半導体物半導体層は多結晶体の上方を成長するので、多結晶体によりその成長が妨げられなくなり、第2の半導体物半導体層の結晶性が良好となる。

【0040】本発明による第1の炭化物質導体素子の製造方法は、前記第1の目的を達成し、本発明に第1の炭化物質導体層を形成する工程と、第1の炭化物質導体層の上面に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の溝部を形成する工程と、溝部の底面を側方マスク膜で被覆形成する工程と、第1の炭化物質導体層の上面における第2の炭化物質導体層を形成する工程と、第2の炭化物質導体層の上面に、溝部を露出する面を被覆する面を被覆形成する工程と、第2の炭化物質導体層の上面に、第2の炭化物質導体層よりもエネルギーギャップが小さい第3の炭化物質導体層を形成する工程と、第3の炭化物質導体層の上面に、第3の炭化物質導体層よりもエネルギーギャップが大きい第4の炭化物質導体層とを含む層を形成する工程と、層の上面に、炭性物質を塗布する工程とを連続的に繰り返す電流集電部を形成する工程とを備えている。

【0041】第1の炭化物質半導体素子の製造方法によると、活性層を含む固体は本発明の第1の炭化物質半導体と、活性層を有する固体により形成されるため、活性層及びそれを上方向から挟む炭化物質半導体層のそれぞれの結晶性が覆われる。このため、半導体素子としての信頼性を著しく向上させることができる。

【0042】本発明に係る第2の変性化物質半導体素子の製造方法は、前記第1の目的を達成し、基板に第1の変性化物質半導体層を形成する工程と、第1の変性化物質半導体層の上面に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の溝部を形成する工程と、溝部の底面とその壁面の少なくとも一部とを覆うマスキング層を形成する工程と、第1の変性化物質半導体層の上における各溝部同士の間にマスキング層の露出する領域を被覆して、基板面から、第2の変性化物質半導体層と、第3の変性化物質半導体層とを形成する工程と、第3の変性化物質半導体層を被覆して、第4の変性化物質半導体層とを含むように積層体を成長させる工程と、積層体の上に、活性層にキヤリを選択的に注入する前記第2の目的を達成し、第1の変性化物質半導体層と、第2の変性化物質半導体層とを形成する工程とを備える。

【0043】第2の発明は本発明の第2の変化半導体の製造方法による。この発明の第2の変化半導体は、活性層及びそれを上から覆う窒化物を含む超伝導膜のそれぞれの粘着性が互に異なるように形成されるため、活性層及びそれを上方方向から被覆する窒化物半導体層のそれぞれの粘着性が異なる。このため、半導体素子としての信頼性を著しく向上させることができる。

【0044】本発明に係る第3の窒化物半導体の製造方法は、前記第1の目的を達成し、基板の上部に、基板面

方向に互いに並行して延びる複数の凸部を形成する工程
 には、前記第1の目的を達成し、延びの方向に、延び面
 と、基板の上の各凸部の頂面に、 $Al_xGa_{1-x}In_zN_y$
 (但し、 x, y, z は、 $0 \leq x, y, z \leq 1$)
 方向に互いに並行して延びる複数の凸部を形成する工程

$z = 1$ である。) かななる窒化物半導体層を選択的に成長する工程とを備えている。

【0045】第3の窒化物半導体の製造方法によると、本発明の第1の窒化物半導体の製造方法と同様の効果を
得られる上に、基板自体にストライプ状の凸部を設ける
ため、種は晶用の半導体層が必要となる。また、基板に
窒化物半導体を用いない場合には選択成長用のマスキ膜
をも設ける必要がなくなり、半導体の製造プロセスを大
幅に簡略化できる。

【0046】本発明に係る第3の窒化物半導体素子の製造方法は、前記第1の目的を達成し、基板の上部に、基板面方向と互いに間隔をおいて延びる複数の溝部を形成する工程と、基板の上面における各溝部同士の間の領域に、基板側から選択的に、第1の窒化物半導体層と、第2の窒化物半導体層よりエネルギーギャップが小さい第2の窒化物半導体層からなる活性層と、該活性層よりもエネルギーギャップが大きい第3の窒化物半導体層とを含むように積層体を成長させる工程と、積層体の上部に、活性層にキャリアを選択的に注入する電流挾持部を形成する工程とを備えている。

【0047】第3の窒化物半導体素子の製造方法によると、活性層を含む積層体は本発明の第3の窒化物半導体の製造方法により形成されるため、活性層及びそれを上層方向から挟む窒化物半導体層のそれぞれの結晶性が優れると共に、製造プロセスを大幅に簡略化できるので、生産性を向上させることができることが、

【0048】本発明に係る第1の變化物半導体素子は、前記第2の目的を達成し、基板に順次形成され、第1の變化物半導体層、該第1の變化物半導体層よりも光の屈折率が大きい第2の變化物半導体層からなる活性層及び該活性層よりも光の屈折率が小さい第3の變化物半導体層とを含む積層体と、積層体の上に形成され、活性層と電極とを電気的に結ぶ電流供給層とを備え、活性層における電流供給層の下方で且つ活性層と基板との間の領域に空層が形成されている。

【0049】第1の窒化物半導体素子によると、活性層における電流拡散部の下方であって活性層と基板との間隙の領域に、光の屈折率が半導体よりも小さい空間層を設けられているため、活性層で生成された生成光が基板側に漏れていくことになるので、活性層への生成光の閉じ込め係数値を大きくできる。

【0050】本発明に係る第2の変化物半導体素子は、前記第2の目的を達成し、基板上に形成され、上部に互いに間隔をおいて基板側方向に延びる複数の凸部を上記第1の変化物半導体層と、第1の変化物半導体層の上に形成された第2の変化物半導体層と、第2の変化物半導体層の上に形成された第3の変化物半導体層と、第3の変化物半導体層からなる活性層及び該活性層より光の屈折率が小さい第5の層とより、光の屈折率が大い第4の屈折物半導体層からなる。

窒化物半導体層とを含む積層体とを備え、第2の窒化物半導体層は、第3の窒化物半導体層の光の屈折率よりも小さい又は同等の屈折率を持つ。

【0051】第2の窒化物半導体素子によると、第2の窒化物半導体層は、上部にストライプ状の凸部を有する。第1の窒化物半導体層の頂面を種結晶として成長しているため、第2の窒化物半導体層の下側で且つ第1の窒化物半導体層の凸部頂面との間の領域には窒酸化物形成されることになる。さらに、第2の窒化物半導体層は、第3の窒化物半導体層の光の屈折率より小さいか、又は同等の屈折率を持つため、積層体における空腔部の上方に電流低折率層を設けると、活性層における光の閉じ込め係数値が確実に大きくなる。

【0052】本発明に係る第4の窒化物半導体基体の製造方法は、前記第2の目的達成し、基板上に第1の窒化物半導体層を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上部に、基板方向に互いに間隔をおいて延びる複数の溝部を形成する工程と、溝部の底面を覆うマスク膜を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上面における各溝部即ち第2のマスク膜から露出するC面を種結晶とす工程と、第2の窒化物半導体層と、第1の窒化物半導体層と、該第3の窒化物半導体層より、光の屈折率が大きい第4の窒化物半導体層からなる活性層と、該活性層より光の屈折率が小さい第5の窒化物半導体層とを含むように積層体を成長する工程と、積層体の上部に、活性層にキャリアを効率的に注入する電流収束部を形成する工程とを備え、積層体を成長する工程は、第2の窒化物半導体層を、その光の屈折率が第3の窒化物半導体層の光の屈折率よりも小さいか又は同等となるように成長する工程を含む。

【0053】第4の窒化物半導体素子の製造方法によると、本発明の第2の窒化物半導体素子を確実に形成できる。

【0054】本発明に係る第5の変化化半導体素子の製造方法は、前記第2の目的達成に、基板の上に第1の変化化半導体層を形成する工程と、第1の変化化半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の溝部を形成する工程と、溝部の底面とその壁面の少なくとも一部とを覆うマッス層を形成する工程と、第1の変化化半導体層の上記各溝部とマッス層との間に溝部開口を形成する工程と、第2の変化化半導体層を上述の溝部開口から露出する領域に堆積品として延び、基板側からマッス層の上面に接する工程とを有する。

変化物半導体層と、第3の変化物半導体層と、該第3の変化物半導体層より光の屈折率が大きい第4の変化物半導体層より光の屈折率が大きい第5の変化物半導体層と、該第5の変化物半導体層より光の屈折率が小さい第5の変化物半導体層とを含むように積層体を成長する工程と、積層体の上に、活性層にキャリアを積極的に注入する電流夾層部を形成する工程とを備え、積層体を成長する工程は、第2の変化物半導体層を、その光の屈折率が第3の変化物半導体層の光の屈折率よりも小さい又は同等となるように成長させる工程を含む。

-13-

-14-

【0055】第5の窒化物半導体素子の製造方法によると、本発明の第2の窒化物半導体素子を確実に形成できる。

【0056】本発明に係る第4の変化物半導体の製造方法は、前記第3の目的を達成し、基板上に、 $Al_0.5Ga_{1.5}N$ （但し、 $y, w, v, w \neq 1$ である）の第1変化物半導体層を形成する工程と、第1変化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の凸部を形成する工程と、互いに隣接する凸部同士に接して、第1変化物半導体層を覆うマスキング層を形成する工程と、第1変化物半導体層の上のマスク膜から露出する各凸部の頂面であるC面を種結晶として、 $Al_0.5Ga_{1.5}N$ （但し、 $x, y, z \neq 1$ である）の第2変化物半導体層を成長させる工程とを備え、複数の第2変化物半導体層を形成する工程は、各第2変化物半導体層が複数の凸部のうちの所定数の凸部を跨ぐように形成する工程を含む。

【0057】第4の重化物半導体の製造方法によると、第2の重化物半導体層のそれぞれ、第1の重化物半導体層の上層に設けられた複数の凸部との互鎖が凸部を跨ぐ一方向に該凸部の向きの方角と平行な面数によって形成されるため、該側面を共役界面と出すように形成する。また、該側面は共役界面となれば、該接合器線端がベーク面やエッチング面に影響されなくなるので、共役器線端のミラー損失を低減できる。

【0058】本発明に係る第5の變化物半導体の製造方法は、前述第3の目的を達成し、基板上に、 $Al_0.5Ga_{0.5}In_0.5N_0.5$ （但し、 u, v, w は、 $0 \leq u, v, w \leq 1$ ）の變化物半導体を形成する工程と、第1の變化物半導体の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の凸部を形成する工程と、互いに隣接する凸部間に形成されてその壁面の少なくとも一部と覆うようにマスク膜を形成する工程と、第1の變化物半導体の上部に、各凸部におけるマスク膜から露出する領域を種結晶として、 $Al_0.5Ga_{0.5}In_0.5N_0.5$ （但し、 x, y, z は、 $0 \leq x, y, z \leq 1$ ）の變化物半導体を成長させる工程とを備え、複数の第2の變化物半導体層を形成する工程は、各第2の變化物半導体層を、各第2の變化物半導体層が複数の凸部のうちの所定数の凸部を跨ぐことと該凸部が延びる方向と平行な側端面に露出するように形成する工程を含む。

【0059】第5の窒化物半導体の製造方法によると、第2の窒化物半導体層のそれぞれを、第1の窒化物半導体層の上部に設けられた複数の凸部のうちの所定数の凸部を跨ぐごとに該凸部が延びる方向と平行な側端面が設

-14-

るp型クラッド層20、及びp型GaNからなるp型コンタクト層21を有している。

【0088】知られているように、ダブルヘテロ接合型のレーザ構造は、MQW活性層18におけるインジウムを含む井戸層のエネルギーギャップが、アルミニウムを含むn型及びp型クラッド層16、20のエネルギーギャップよりも小さい。一方、光の屈折率は、MQW活性層18の井戸層が最も大きく、順に、光ガイド層17、19、クラッド層16、20の順に小さくなる。

【0089】p型クラッド層20の上部及びp型コンタクト層21は、幅が3 μm ～5 μm 程度の電流注入領域で、電流収束部となるリッジ部31が形成されている。【0090】MQW活性層18を含む積層体30は、n型コンタクト層15の一部を露出するようにエッチングされており、エッチングされた積層体30の上面及び側面は酸化シリコンからなる絶縁膜22により覆われている。

【0091】絶縁膜22におけるp型コンタクト層21の上側には凸部12aと平坦な開口部が設けられ、絶縁膜22上のリッジ部31の上側及び側方の領域には、開口部を通してp型コンタクト層21とオーミック接触するニッケル(Ni)と金(Au)との積層体からなるp側電極23が形成されている。

【0092】n型コンタクト層15の絶縁膜22からの露出部分の上にはn型コンタクト層15とオーミック接触するチタン(Ti)とアルミニウム(Al)との積層体からなるn側電極24が形成されている。

【0093】ここで、リッジ部31は空層部12cの上側に位置する、結晶転位が少ない低転位密度領域に形成されている。

【0094】以下、前記のように構成された半導体レーザ素子の製造方法について図面を参照しながら説明する。

【0095】図2(a)、図2(b)～図4は本発明の第1の実施形態に係る半導体レーザ素子の製造方法の工程順の断面構成を示している。

【0096】まず、図2(a)に示すように、例えば、MOVPE法を用いて、基板温度を約500℃～530℃に設定した後、C面(=0001面)を主面とする基板11上に、III族源のトリメチルガリウム(TMG)と、窒素源のアンモニア(NH₃)とを供給して、GaNからなる低転位密度領域(図示せず)を堆積する。続いて、基板温度を約1020℃～1030℃に昇温した後、TMGとNH₃とを基板11上に供給することにより、GaNからなるシード層12を成長させる。

【0097】次に、図2(b)に示すように、シード層12の上面にレジスト膜を塗布した後、塗布したレジスト膜をフォトリソグラフィ法によりストライプ状にパターンニングを行って、レジストパターン40を形成す

22の開口部からの露出領域上にn側電極24を形成する。

【0103】このようにして得られた半導体レーザ素子に対して、p側電極23とn側電極24との間に順方向の所定電圧を印加すると、MQW活性層18に向かつて、p側電極23から正孔が注入されると共にn側電極24から電子が注入され、MQW活性層18において光増倍を生じて、基板温度が約404nmのレーザ発振を起こす。

【0104】図5に示すように、選択成長層14における積層体の上面の領域、すなわち、凸部12aの上側の領域は、転位密度が約1 $\times 10^8$ cm⁻²と高転位密度領域14bが形成される。一方、ラテラル成長した領域は、転位密度が1 $\times 10^7$ cm⁻²程度の低転位密度領域14cとなる。従って、積層体30における低転位密度領域14cの上面に、リッジ部31、すなわちレーザ光の共振器となる電流注入領域を形成することにより、レーザ素子の信頼性を向上させることができる。

【0105】本実施形態の特徴であるシード層12の溝部12bの効果について図6(a)～図6(d)を参照しながら説明する。

【0106】図6(a)に示すように、シード層12の上面にストライプ状の溝部12bを形成し、続いて、溝部の少なからず底面にマスク層13を形成する。

【0107】次に、図6(b)及び図6(c)に示すように、溝部12b同士に挟まれた凸部12aの頂面を積層体として選択成長層14を成長させると、マスク層13の上にGaNからなる多結晶層41が析出する場

合がある。

【0108】次に、図6(d)に示すように、多結晶層41が析出したままELO成長を続けて、選択成長層14が一体化されたとしても、積層体である凸部12aの頂面と、多結晶層41が析出した溝部12bの底面との間には段差部が形成されるため、多結晶層41は選択成長層14及び積層体30の結晶性に何ら影響を及ぼすことがない。その結果、積層体30の結晶性のばらつきを大きく低減でき、半導体レーザ素子の製造の歩留まりを大きく向上させることができる。

【0109】ところで、図1に示した選択成長層14及び積層体30を基板面に垂直な方向に貫く接合部14aは、刃状転位が集中して小傾角境界を形成している。従って、n側電極24から注入された電子は複数の接合部14aを横切ってMQW活性層18に到達することになり、接合部14aに集中した転位が電子の注入を妨げることはない。

【0110】また、半導体レーザ素子をチップ状に形成する際には、共振器のミラー面となる共振器端面を形成する必要がある。一般に、半導体レーザ素子の共振器端面は基板11をへき面として形成されるが、へき面時には基板11に腐食クラックが生じることがあ

る。

【0111】図39に示した第2の実施形態に係る製造方法は、基板401と最下層の半導体層404とが接触しているために、基板401に生じた転位はMQW活性層306を含む積層体306まで達し、レーザ素子の動作及び光増倍性を大きく損ねるといった不具合を生じる。

【0112】一方、本実施形態においては、基板11と積層体30との間に空層部12cを設けるため、基板11に生じた転位は空層部12cでとどめられることができ、このため、基板11に生じた転位によって積層体30が不良品を被る虞を著しく低減できる。

【0113】また、図37に示した第1の実施形態に係る製造方法は、サファイアや炭化ケイ素からなる基板301上に窒化物半導体層を成長させると、結晶の転位密度が約10⁹ cm⁻²と多くなる。このような高転位密度を有する半導体結晶は、ステップフロー成長する際に、高密度の転位、特にらせん転位によって結晶面のステップが誘導され、結晶表面にマイクロファセットが形成される。このため、結晶表面の凹凸が大きくなって平坦性が悪い結晶となってしまう。その結果、インジウムを含むMQW活性層306を成長する際に、原料のインジウムが成長中の結晶内に取り込まれる量にばらつきが生じてしまい、レーザ素子のしきい値電流が増大する等の悪影響が生じる。

【0114】本実施形態に係る製造方法によると、図5に示した、ラテラル成長領域、すなわち低転位密度領域14cにおいて、一様なステップフロー成長を観察しており、結晶表面の平坦性が良好である。その結果、MQW活性層18を成長する際に、インジウムの局所的な偏析が生じないので、しきい値電流の低減を図ることができる。

【0115】なお、本実施形態においては、窒化物半導体の成長方法にMOVPE法を用いたが、これに限定されない。MOVPE法に代えて、ハイドライド気相成長(HVPE)法又は分子線エビタキシ(MBE)法等の、窒化物半導体を成長可能な方法であればよい。後述の各実施形態においても同様である。

【0116】また、基板11にサファイアを用いたが、サファイアに代えて、例えば炭化ケイ素、ネオジムガー

ート(NGO)又は炭化ガリウム等を用いてもよい。【0117】また、シード層12は、基板11との間に低転位密度領域を介して2段階成長によって形成した

が、シード層12に単結晶を得る方法であれば、低転位密度領域を必要としない。【0118】また、シード層12の上面の凸部12aの形状にリフトオフ法を用いたが、凸部12a及び溝部12bが形成でき、溝部12bの少なからず底面にマスク膜13が露出する方法であれば、他の方法を用いてもよい。すなわち、凸部12aにおけるマスク13により覆われていない領域のうちのC面を共振器端面として、空層部

12cが形成される方法であればよい。さらには、凸部12aをシード層12の上部を張り込むリセスエッチによって形成する代わりに、シード層12の平坦な上面に、ストライプ状の開孔パターンを持つ選択成長用のマスク膜を形成し、そのマスク膜の開孔パターンから突出して成長した凸部を用いてもよい。

【0119】また、マスク膜13は、空腔部12cが形成されればよく、溝部12bの底面上にのみ形成してもよい。

【0120】また、マスク膜13の材料に酸化シリコンを用いたが、酸化シリコンに代えて、他の誘電体又は非晶質の絶縁膜を用いてもよい。具体的には、酸化シリコン(SiO₂)、酸化窒化シリコン(SiON)、酸化アルミニウム(Al₂O₃)、酸化酸化アルミニウム(AlNO)、酸化チタン(TiO₂)、酸化ジルコニウム(ZrO₂)又は酸化ニオブ(Nb₂O₅)を用いてもよい。これらの膜はECRスパッタ法を用いることにより、比較的容易に形成することができる。

【0121】(第1の実施形態の第1変形例) 以下、本発明の第1の実施形態の第1変形例として、マスク膜13に高熔点金属又は高熔点金属膜を用いた例を説明する。

【0122】選択成長用のマスク膜13に、高熔点金属であるタンタルステン(Ni)を用いると、マスク膜13に誘電体を用いる場合と比べて結晶成長の選択性が向上し、マスク膜13上の多結晶膜41の折出がより抑えられる。これにより、多結晶膜41の影響を受けない高品質な誘電体30を極めて容易に形成することができる。

【0123】これは金属からなるマスク膜13の誘電体からなるマスク膜13と比べて、高熔点金属膜と結合力が強いこと起因する。

【0124】また、高熔点金属であるタンタルステンはその熔点が3380℃で、金属で最も熔点が高く且つ蒸気圧も低く特性が安定しているため、酸化シリコン等の誘電体を用いた場合のシリコンや酸素等の不純物が選択成長層14へ混入する虞がない。このため、タンタル成長層14へ混入する量が少なく、成長した選択成長層14には深い準位や非発光中心が形成されない。

【0125】図7は誘電体からなるマスク膜13を用いた選択成長層14と、高熔点金属からなるマスク膜13を用いた選択成長層14との室温でのフォトルミネッセンスを比較した結果を示している。

【0126】図7に示すように、第1変形例に係る選択成長層14は波長が430nm付近の深い準位からの発光もなく、極めて強いバンド端発光を得られている。これにより、第1の実施形態に係る選択成長層14と比べて、より高品質な結晶膜を得られることが分かる。従って、このような高品質な選択成長層14の上に積層体30を成長すれば、より発光効率が高いMQW活性層18を形成することができる。

【0127】なお、第1変形例に係るマスク膜13にタ

ングステンを用いたが、代わりに、他の高熔点金属又は高熔点金属膜を用いてもよい。例えば、モリブデン(Mo)、ニオブ(Nb)、タンダステンシリサイド(MoSi₃)又はWSi₃、モリブデンシリサイド(MoSi₃)又はニオブシリサイド(NbSi₃)を用いてもよい。これらの膜は、電子ビーム蒸着法又はスパッタ法を用いることにより、比較的容易に形成することができる。

【0128】(第1の実施形態の第2変形例) 図8は本発明の第1の実施形態の第2変形例に係る酸化シリコン系半導体レーザ素子の断面構成を示している。図8において、図1に示す構成部材と同一の構成部材には同一の符号を付すことにより説明を省略する。

【0129】図8に示すように、第2変形例に係る半導体レーザ素子は、シード層12の上部に、選択成長層及びn型コンタクト層を設けることなく、n型Al_{0.05}Ga_{0.95}Nからなるn型クラッド層16を設けている。

【0130】第1の実施形態において説明したように、シード層12の上部に種結晶となる領域を除いて溝部12bを形成しているため、マスク膜13の上側には空腔12cが形成される。これにより、マスク膜13上に多結晶膜が折出したとしても、多結晶膜がシード層12の上部に選択成長する半導体膜に取り込まれなくなる。その結果、選択成長する半導体膜の結晶性が良好となり、レーザ構造の損傷層30の一部であるn型クラッド層16をシード層12の上部に直接に形成できる。この場合には、n型クラッド層16は露出したn型クラッド層16の露出部分上に設けることになる。

【0131】(第2の実施形態) 以下、本発明の第2の実施形態について図面を参照しながら説明する。

【0132】図9は本発明の第2の実施形態に係る酸化シリコン系半導体レーザ素子のM面を共板器端面とする断面構成を示している。図9において、図1に示す構成部材と同一の構成部材には同一の符号を付すことにより説明を省略する。

【0133】本実施形態に係る半導体レーザ素子は、例えば、サブファイアからなる基板11Aの上部に、選択成長用のストライプ状の凸部11aが共振器端面のM面に垂直な方向、すなわち基板11AのA軸(=x-z)方向に設けられている。

【0134】ここで、n型コンタクト層15は、基板11Aの凸部11aのC面上に生成された単結晶膜を種結晶として直接に形成されていることを特徴とする。

【0135】以下、前記のように構成された半導体レーザ素子の製造方法について図面を参照しながら説明する。

【0136】図10(a)、図10(b)～図12は本発明の第2の実施形態に係る半導体レーザ素子の工程順の断面構成を示している。

【0137】まず、図10(a)に示すように、C面を主面とする基板11A上にレジスト膜を塗布した後、塗

布したレジスト膜をフォトリソグラフィ法によりストライプ状にパターンニングを行なって、基板11AのA軸方向に延びるストライプ状パターンでその周期が約10μm～30μmとなるレジストパターン40を形成する。

続いて、レジストパターン40をマスクとして、反応性イオンエッチング(RIE)等のドライエッチングにより、基板11Aの上部に、断面幅が約9μm～27μmで深さが約20nm～500nmの溝部11bを形成する。ここでは、溝部11b上の間の領域からなる凸部11aの断面幅を約10μm～3μmとしている。

【0138】次に、図10(b)に示すように、レジストパターン40を除去して、上部にA軸方向に延びるストライプ状の凸部11aを有する基板11Aを得る。

【0139】次に、図11に示すように、MOVPE法を用いて、基板温度を約1000℃に昇温した後、例えば、圧力が約100Torr(1Torr=133.3Pa)の水素と窒素との混合雰囲気として、基板11Aの上にトリメチルガリウム(TMG)、アンモニア(NH₃)及びシラン(SiH₄)を供給して、基板11Aの上部に、凸部11aの頂面に現れたC面上に生成する単結晶膜を種結晶として、n型GaNからなるn型コンタクト層15を成長させる。このとき、n型コンタクト層15は、各凸部11aの頂面から上方に成長すると共に、基板面に平行な方向にも成長して、隣接する溝部11bの両側から成長してきた結晶膜同士が互いに対向する側面が溝部11bのほぼ中央部で接合して接合層15aを形成する。これにより、複数の凸部11aの頂面から成長する各結晶膜は一体化されて、上面がC面からなるn型コンタクト層15が形成される。また、このとき、各溝部11bの底面及び壁面とn型コンタクト層15の下面とにより囲まれてなる複数の空腔部11cが形成される。

【0140】ここで、サブファイアからなる基板11Aによる選択成長の成長機構を説明する。

【0141】通常、酸化物半導体を成長する際には、誘電体半導体と誘電体とが異なる基板を用いる場合には、基板上に酸化物半導体からなる低温バッファ層を介さずGaN結晶を直接に成長させると、GaNからなる単結晶膜同士が合体してなる3次的な膜しか得られない。

【0142】一方、本実施形態においては、基板11Aの溝部11bの底面にドライエッチングを施しているため、溝部11bの底面及び壁面にはドライエッチングによるダメージ層が形成される。このため、溝部11bの底面及び壁面上では単結晶膜の生成が阻害される。また、ドライエッチングが施されていない凸部11aの頂面は、その断面幅が約1μm～3μmと小さいため、高濃度の単結晶膜が容易に生成される。このように凸部11aの頂面上に生成された単結晶膜が選択成長の種結晶となり、前述の成長条件で基板面方向への選択成長が促

進される。

【0143】図11において、接合部15a以外の選択成長領域では其面方位が約1×10⁶cm⁻²の密度で観測されるのに対して、接合部15aではC面内に水平な方位が約4×10⁷cm⁻²の密度で観測される。n型コンタクト層15の厚さは、溝部11bの幅等にも依存するが、約2μm～6μmとしている。また、n型コンタクト層15における内部11aの上面部分のC面と空腔部11c上の領域のC面とのチルト角は0.01度～0.03度に抑えられている。

【0144】このように、本実施形態に係るELO成長法が従来のELO成長と比較してチルト角が極めて小さくなるのは、ELO成長した結晶膜であるn型コンタクト層15が基板11aと接触しておらず、マスク膜13との界面で従来のようなストレスが発生しないからである。

【0145】なお、このとき、接合部15aの下部に、空腔部11c側に開口する逆V字状のボイドが現れる。

【0146】さらに、本実施形態においては、n型コンタクト層15の選択成長を行なう際に、溝部11bの底面上に多結晶膜が析出したとしても、基板11Aの上部に設けた凸部11aと溝部11bとの間に生じる段差によって多結晶膜がn型コンタクト層15と接触しないため、結晶膜30の結晶の品質に影響を受けることはない。その結果、結晶膜30から形成されるレーザ素子の動作特性のばらつきを低減でき、歩留まりを向上させることができる。

【0147】次に、図12に示すように、n型コンタクト層15の上に結晶膜30の残りの半導体層を形成する。

【0148】すなわち、例えば、基板温度を約970℃に設定した後、圧力が約300Torrの水素と窒素との混合雰囲気として、n型コンタクト層15の上に、n型クラッド層16、n型光ガイド層17、MQW活性層18、P型光ガイド層19、P型クラッド層20及びP型コンタクト層21を順次成長させる。ここでは、MQW活性層18を、厚さが約4nmのGa_{0.91}In_{0.09}Nからなる井戸層と厚さが約6nmのGaNからなるバリア層により構成している。

【0149】続いて、図9に示すように、P型クラッド層20の上部及びP型コンタクト層21に対して、後層体30のM面(=x-z)方向、すなわち、基板11Aの溝部11bと平行な方向に、MQW活性層18に選択的に電流を注入するリッジ部31を、空腔部11cの上方で且つ接合部15aと重ならない領域、すなわち、低伝導度領域に形成する。ここで、リッジ部31の幅は約2μm～5μmとしている。

【0150】なお、GaN結晶は可視光によって透明であるため、光学顕微鏡により凸部11aと空腔部11

【0175】なお、この寄生的な導波路の生成を阻止す

る効果は、空腔部12cの基板面に垂直な方向の間隔、すなわち溝部12bの深さす法が少なくとも50nm程度

に、溝部12bの深さす法が少なくとも50nm程度あれば、基板11側の光の漏れを実質的になくすこと

【0176】また、選択成長層14Aのアルミニウム組成は、2%以上、望ましくは4%以上とすることによ

り、生成光の基板11側への漏れを抑制できる。

【0177】また、本実施形態においても、選択成長層14Aを成長させる際、AlGaInからなる多結晶体が

マスク膜13上に析出したままELO成長を飛行して、多結晶である溝部12aの頂面と多結晶が析出し

た溝部12bの底面との間には段差が生じているため、多結晶体により選択成長層14Aの結晶性が劣化するこ

とがない。その結果、積層体30の結晶性のばらつきを大きく減らすことができ、半導体レーザ素子の製造の歩留まりが

向上する。

【0178】以下、積層体30上のリッジ部31の位置合わせ方法について説明する。

【0179】積層体30における空腔部12cの上の上方の低方位密度領域にリッジ部31を形成するには、フォト

リソグラフィ法によりリッジ部31の位置決めを高精度に行う必要がある。

【0180】図17は積層体30を形成する前の選択成長層14の光学的顕微鏡による平面写真と、それと対応す

る選択成長層14の断面構成を表わしている。図17に示すように、光学顕微鏡によって、低方位密度領域14cは、高方位密度領域14b及び接合部14aと容易に

識別できる。従って、フォトリソグラフィ法によるリッジ部31の位置決めを付与工程において、専用のアラ

イメントパターン（位置合わせマーク）を用意する必要がない。

【0181】また、共振器端面の形成には、基板11及び積層体30をへき開する必要がある。本実施形態にお

いても、シード層12に設けた空腔部12cにより、基板11に生じた傷が空腔部12cでとどまるため、積層

体30への影響を確実に低減できる。

【0182】本実施例においては、n型電極24はn型超格子クラッド層16aと接するように形成されてお

り、n型超格子クラッド層16aをn型コンタクト層と

している。

【0183】前述したように、MQW活性層18からの生成光が基板11側に漏れないためには、n型光ガイド

層17と空腔部12cとの間にアルミニウムを含む半導体層によって構成する必要がある。ところが、n型電極24を形成するためのn型コンタクト層にアルミニウムの組成が大きいバレル層（単層）、例えば、n型Al0.07Ga0.93Nからなる層を用いると、該層の底位

ウム系結晶を得る半導体の製造方法としても適用でき

る。さらに、第1の実施形態のように、基板11上にシード層12を設けないため、製造プロセスを簡略化でき

【0166】また、本実施形態に係る低方位密度領域を有する発光半導体層を用いることにより、発光素子に限らず、電圧素子等の他の半導体素子を形成しても良

い。これにより、該半導体素子の高信頼性と高歩留まりとを現できる。

【0167】（第3の実施形態）以下、本発明の第3の実施形態について図面を参照しながら説明する。

【0168】図14は本発明の第3の実施形態に係る空腔化ガリウム系半導体素子の断面構成を示している。図14において、図1に示す構成部材と同一の構成

部材には同一の符号を付すことにより説明を省略する。【0169】第1の実施形態との構成上の相違点のみを説明する。

【0170】シード層12の各凸部12aの頂面から成長して一体化された選択成長層14Aに変化アルミニウムガリウム（AlGaIn）を用いる共に、n型AlGaInとn型GaInを含む超格子構造を持つn型超格子ク

ラッド層16Aがn型コンタクト層15を兼ねる構成を採る。これにより、MQW活性層18の光の閉じ込め係

数値を大きくしている。本実施形態に係る半導体レーザ素子のリッジ部における基板と垂直な方向の屈折率分布

と、共振器端面の光強度分布との関係を示している。また、図16は本実施形態に係る半導体レーザ素子から出射されるレーザ光の共振器端面に平行な方向における遠

視野像を示している。【0172】第3の実施形態においては、シード層12の溝部12bの深さを約50nmとし、n型超格子ク

ラッド層16Aの平均組成をAl0.07Ga0.93Nとしてい

る。また、n型光ガイド層17から上の積層体の構成は、図37に示した従来の半導体レーザ素子と同等の構成としている。

【0173】図15から分かるように、本実施形態に係る半導体レーザ素子は基板11側への生成光の漏れがみ

られない。また、MQW活性層18への光の閉じ込め係数値は、図41の場合の約1.54倍にも達することを

確認している。【0174】これは、MQW活性層18が、シード層12の空腔部12cによって基板11と分離されている上

に、n型超格子クラッド層16Aとシード層12との間に、光の屈折率がn型超格子クラッド層16Aよりも小

さいか同程度の屈折率を持つn型AlGaInからなる選択成長層14Aを設けていることによる。これにより、n型超格子クラッド層16Aと基板11との間に寄生的

な導波路が形成されないため、MQW活性層18における光の閉じ込め係数値の生成光の漏れによる低下を抑制

ッド層16と基板11Aとの間に寄生的な導波路が形成されず、従って、生成光の漏れによるMQW活性層18の光の閉じ込め係数値が低下しないからである。

【0158】なお、この寄生的な導波路の生成を阻止する効果は、空腔部11cの基板面に垂直な方向の間隔、すなわち溝部11bの深さす法が少なくとも50nm程度であれば、基板11A側への光の漏れを実質的になくすことを確認している。

【0159】また、GaInからなるn型コンタクト層15にアルミニウムを2%以上添加すると、基板11A側への光の漏れをより効果的に抑制できることをも確認している。

【0160】また、本実施形態においては、基板11Aの凸部11aの頂面に生成される単結晶核として変化ガリウムを用いたが、他の変化ガリウム系の結晶、すなわち、Al_{0.5}Ga_{0.5}In_{0.5}N（但し、u, v, wは、0 ≤ u, v, w ≤ 1, u + v + w = 1である。）であればよ

い。混晶の場合は、該混晶の組成に応じてELO成長に最適な成長条件を選ぶことができる。

【0161】また、基板11Aにサブファイアを用いたが、サブファイアに代えて、例えば炭化ケイ素や窒化ガリウム等を用いてもよい。但し、炭化ケイ素や窒化ガリウムを用いると、積層体30に引張り歪みが増加し、クラ

ックが発生しやすくなるため、溝部11bの断面端で、クラックが小さくすることにより、n型コンタクト層15が一体化されたときの厚さが2μm未満となるようにすることが望ましい。また、基板11Aに炭化ケイ素や窒化ガリウムを用いる場合は、へき開はM面及びA面のいずれの面でも容易となるが、溝部11bのストライプ方

向と直交する面へき開する方が歩留まりを高くできる。【0162】また、基板11Aに溝部11bを形成する際、RIE法によるドライエッチングを用いたが、溝部11bの底面及び壁面にダメージ層を形成し、窒化ガリウム系半導体に選択成長性を付与できる方法であれば、他のドライエッチング方法、例えば、イオンミリング法を用いてもよい。

【0163】また、溝部11bのダメージ層をELO成長のためのマスク層としたが、析出した多結晶体がダメージ層に付着するようない場合、特に、基板11Aに窒化ガリウムを用いる場合には、選択性をより向上させたために、窒化シリコン等からなるマスク膜を溝部11bの少なくとも底面に形成することが好ましい。

【0164】なお、マスク膜13は、窒化シリコンに限らず、第1の実施形態に示した誘電体、非晶質の絶縁体でも良く、さらには、その第1の実施形態に示した高融点金属又は高融点金属化合物を用いることが好ましい。

【0165】以上説明したように、本実施形態に係る発光素子は、レーザ素子に関するが、方位密度が低い窒化ガリウムを用いることができる。【0166】また、溝部11bの深さす法が少なくとも50nm程度であれば、基板11A側への光の漏れを実質的になくすことを確認している。

【0167】（第3の実施形態）以下、本発明の第3の実施形態について図面を参照しながら説明する。

【0168】図14は本発明の第3の実施形態に係る空腔化ガリウム系半導体素子の断面構成を示している。図14において、図1に示す構成部材と同一の構成部材には同一の符号を付すことにより説明を省略する。【0169】第1の実施形態との構成上の相違点のみを説明する。

【0170】シード層12の各凸部12aの頂面から成長して一体化された選択成長層14Aに変化アルミニウムガリウム（AlGaIn）を用いると共に、n型AlGaInとn型GaInを含む超格子構造を持つn型超格子ク

ラッド層16Aがn型コンタクト層15を兼ねる構成を採る。これにより、MQW活性層18の光の閉じ込め係数値を大きくしている。本実施形態に係る半導体レーザ素子のリッジ部における基板と垂直な方向の屈折率分布

と、共振器端面の光強度分布との関係を示している。また、図16は本実施形態に係る半導体レーザ素子から出射されるレーザ光の共振器端面に平行な方向における遠視野像を示している。【0172】第3の実施形態においては、シード層12の溝部12bの深さを約50nmとし、n型超格子ク

ラッド層16Aの平均組成をAl0.07Ga0.93Nとしてい

る。また、n型光ガイド層17から上の積層体の構成は、図37に示した従来の半導体レーザ素子と同等の構成としている。

【0173】図15から分かるように、本実施形態に係る半導体レーザ素子は基板11側への生成光の漏れがみられない。また、MQW活性層18への光の閉じ込め係数値は、図41の場合の約1.54倍にも達することを確認している。

【0174】これは、MQW活性層18が、シード層12の空腔部12cによって基板11と分離されている上に、n型超格子クラッド層16Aとシード層12との間に、光の屈折率がn型超格子クラッド層16Aよりも小さいか同程度の屈折率を持つn型AlGaInからなる選択成長層14Aを設けていることによる。これにより、n型超格子クラッド層16Aと基板11との間に寄生的な導波路が形成されないため、MQW活性層18における光の閉じ込め係数値の生成光の漏れによる低下を抑制

cとを識別することが容易である。このため、フォトリソグラフィ法を用いたリッジ部31の位置決めを行なう際に、専用のアラメントパターンを用いる必要がない。

【0151】次に、積層体30のリッジ部31を含んだ領域をマスクして、n型コンタクト層15を露出した後、積層体30の露出面に絶縁膜22を堆積する。続いて、絶縁膜22上にリッジ部31を跨ぐと共にn型コンタクト層21の絶縁膜22からの露出領域上にp型電極23を形成する。また、n型コンタクト層15における絶縁膜22からの露出領域上にn型電極24を形成する。

【0152】次に、積層体30のM面で、すなわち基板11AをそのA面へへき開することにより共振器端面を形成する。前述したように、サブファイアのA面へへき開が困難な結晶面であるが、基板11Aに空腔部11cを設けたことにより、へき開が所定の位置からずれた状態でサブファイア結晶が破断したとしても、この破断が積層体30に伝播しないため、共振器端面の近傍には良好なへき開面を容易に得ることができる。これにより、レーザ素子のへき開による歩留まりを高くすることができ

る。【0153】次に、へき開した共振器の両端面に適當な反射率となるように誘電体膜等によってコーティングを施し、その後、リッジ部31に対して平行な側面でサブ状に分割して半導体レーザ素子を得る。

【0154】本実施形態に係る半導体レーザ素子は、第1の実施形態で述べたように、ELO成長した領域における一様なサブアップロ成長が観察される。このようない様な表面上にMQW活性層18を成長させる、インジウムとの間隔が短くならない。その結果、MQW活性層18は高品質な結晶体となるので、レーザ素子の動作電流を低減することができる。

【0155】図13は本実施形態に係る半導体レーザ素子から出射されるレーザ光の共振器端面に平行な方向における遠視野像を示しており、単峰性の良好な光強度分布が得られている。一方、第1の実施例に係る半導体レーザ素子は、図42に示したように、光強度分布が多峰性となる遠視野像を示す。

【0156】本実施形態に係る半導体レーザ素子に単峰性を得られるのは、積層体30と基板11Aとの間に空腔部11cが設けられることにより、積層体30と基板11Aとが光学的に互いに分離されているためである。

【0157】具体的に説明すると、図9に示すように、n型クラッド層16の下側には、該n型クラッド層16よりも光の屈折率が高いn型コンタクト層15が形成されているため、MQW活性層18で生成された生成光が基板11A側に漏れやすい。しかしながら、本実施形態においては、n型コンタクト層15の下側に、屈折率が極めて低い空腔部11cを設けているため、n型クラ

従来のELO法による成長機構と異なっている。

【0213】本実施形態においては、第1の選択成長層14BにGa_{0.95}Nを削い、第2の選択成長層14CにAl_{0.05}Ga_{0.95}Nを用いたが、第1の選択成長層14Bには、アルミニウムの組成が4%以下のAl₁Ga_{0.99}N、 $xN(x+y+z=1)$ からなる窒化物半導体であればよい。

【0214】以下、低屈折率を有する第2の選択成長層14Cを成長するよりも前に、シード層12を種結晶とする第1の選択成長層14Bを形成する目的を図面に基づいて説明する。

【0215】第3の実施形態で説明したように、基板面に対して垂直な方向の異方性成長及びMQW活性層18への光の閉じ込め係数を大きくするのであれば、選択成長層を2層構造とする必要はない。

【0216】と図20(a)に示すように、Al₁GaNからなる選択成長層14Aにおいてアルミニウムの組成が4%を超える場合には、選択成長層14Aの成長方向の端面にうねり14dが生じる場合がある。選択成長層14Aの成長条件、例えば成長圧力、成長速度、又はH₂流量に対するV族族のモル比であるV/III比等に適当な値を設定すれば多少の改善はされるものの、基盤を考えると、成長端面のうねり14dの発生を極力なくすることが好ましい。

【0217】本願発明は、シード層12を種結晶とする選択成長層14Bには、アルミニウムの組成を小さくした窒化物半導体層を用いることが好ましいことを見いだしている。

【0218】具体的に、図20(a)に示すように、まず、アルミニウムの組成が4%以下の窒化ガリウム系半導体からなる第1の選択成長層14Bをシード層12の凸部12aの近傍に成長させておき、その後、成長した第1の選択成長層14Bを種結晶として、アルミニウムの組成が4%を超え、低屈折率を有する窒化ガリウム系半導体からなる第2の選択成長層14Cを成長させる。これにより、第2の選択成長層14Cは成長端面にうねり14dを生じない良好なラテラル成長を行なえるようになる。

【0219】また、第2の選択成長層14Cは、そのアルミニウムの組成が大きい程、また、その成長時間が長いほど、マスク膜13上に多結晶41が析出しやすくなる。これはGa_{0.95}N結晶と比べてAl_{0.05}GaN結晶又はAl_{0.1}N結晶の蒸発速度が小さいためである。

【0220】図21(a)〜図21(d)に示すように、Ga_{0.95}Nからなり、多結晶41が析出しにくい第1の選択成長層14Bを最初に成長させることにより、成長端面が接合するまでに要する第2の選択成長層14Cの成長時間を短くすることができる。

【0221】また、図21(c)の第1の選択成長層14Bが単位に成長するた、マスク膜13上に供給される

野像を得ている。

【0204】これは、MQW活性層18が、シード層12の空腔部12cによって基板11と分離されている上に、n型クラッド層16とシード層12との間に、光の屈折率がn型クラッド層16より小さいか又は同等の屈折率を持つn型超格子層15A及び第2の選択成長層14Cを設けているからである。これにより、n型クラッド層16と基板11との間に著生的な導波路が形成されず、MQW活性層18における光の閉じ込め係数を低減し、基板11側への光の漏れを抑制できる。【0205】なお、本実施形態の場合は、計算機シミュレーションの結果、溝部12bの深さ寸法が小さくとも20nm程度であれば、基板11側への光の漏れを実質的になくすることができることを確認している。

【0206】また、第2の選択成長層14Cのアルミニウムの組成は、2%以上、望ましくは4%以上とするこにより、生成光の基板11側への漏れを抑制できる。【0207】以上の構成により、MQW活性層18への光閉じ込め係数は、図41の構成の約1.5倍となり、レーザのしきい値電流を低減できる。

【0208】次に、本発明に係る凸部12aの頂面を種結晶とする選択成長法と、図38に示す、平坦なシード層をストライプ状にマスクする第2の従来例の選択成長法との成長機構の相違点を説明する。

【0209】図19(a)は、第4の実施形態に係る選択成長機構を模式的に表わしており、図19(b)は第2の従来例に係る選択成長機構を模式的に表わしている。【0210】良く知られているように、分子等からなる反応種が所望の結晶面に成長するまでには、結晶体の表面やマスキングの表面上において、反応種が吸着、拡散面上やマスキングの表面上に吸着した原子は結晶表面の上であるテラス上を拡散する。また、表面に吸着された原子はステップと呼ばれるテラス上の段差部で結晶化する。

【0211】図19(b)に示すように、従来のELO成長の場合においても、マスク膜403上で同様のプロセスを繰り返す。すなわち、マスク膜403上を拡散した原子は、Ga_{0.95}Nからなる半導体層404の表面に吸着する。このとき、マスク膜403を構成するシリコン又は砒素が、水素やアンモニアの還元作用によって分解されて、不純物として半導体層404に取り込まれることにより、半導体層404の結晶性が劣化する。

【0212】これに対して、図19(a)に示すように、本実施形態においては、マスク膜13上を拡散して、Ga_{0.95}Nからなる第1の選択成長層14Bに取り込まれる原子はない。それは、第1の選択成長層14Bの下に結晶が成長し得ないためである。このように、マスク膜13上の反応種の結晶成長への寄与が従来のELO法と異なっており、このことから、本発明の成長機構は

部材には同一の符号を付すことにより説明を省略する。【0194】第3の実施形態との構成上の相違点のみを説明する。

【0195】第3の実施形態に係るAl₁GaNからなる選択成長層14Aを、図18に示すように、シード層12の凸部12aの頂面の近傍に形成されたGa_{0.95}Nからなる第1の選択成長層14Bと、第2の選択成長層14Bの上及び側方を覆う、Al₁GaNからなる第2の選択成長層14Cとの2層構造としている。

【0196】また、n型超格子層を兼ねるn型超格子クラッド層16Aを、n型超格子コンタクト層15Aと単層のAl_{0.05}Ga_{0.95}Nからなるn型クラッド層16との2層構造としている。ここでは、n型超格子コンタクト層15Aの構成を、n型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nとn型Ga_{0.9}Nとからなる超格子構造としている。

【0197】また、種結晶30の上面におけるリッジ部31には、該リッジ部31の上面にのみp側電極23を形成し、該p側電極23及びリッジ部31を覆うようにp側配線電極25が形成されている。同様に、n側電極24上には該n側電極24を覆うn側配線電極26が形成されている。

【0198】以下、本実施形態に係る半導体レーザ素子の製造方法の特徴を説明する。

【0199】まず、シード層12の各凸部12aの頂面を種結晶として成長する複数の第1の選択成長層14Bを成長させる。続いて、各第1の選択成長層14Bを種結晶として成長する第2の選択成長層14C同士が接合して一体化するまでは、第1及び第2の選択成長層14B、14Cの成長圧力を200 Torr程度と比較的低く設定している。

【0200】これは、減圧状態とする程、第1及び第2の選択成長層14B、14Cの成長速度が、基板面に垂直のC軸方向と比べて、シード層12のA軸方向、すなわち、溝部12bを横切る方向の方が大きくなるからである。

【0201】これに対して、MQW活性層18は成長時の圧力を300 Torr程度に高くして行なう。これは、成長圧力を高くした方が、蒸気圧が高いインジウムを蒸発を抑制でき、MQW活性層18の結晶品質を高くしやすいためである。従って、種結晶30を形成する際には、第1及び第2の選択成長層14B、14Cと成長圧力を変更することになる。

【0202】このように、連続する窒化物半導体の成長工程において、成長圧力を変更する場合は、移動中に成長圧力を変更可能な1つの結晶成長炉を用いても良く、また、それぞれの成長圧力に設定された別々の結晶成長炉を用いても良い。

【0203】第4の実施形態に係る半導体レーザ素子は、第3の実施形態と同様に、図15に示した屈折率分布及び光強度分布を示し、図16に示した出射光の選

率が窒化ガリウムと比べて2倍程度に増えたり、さらにコンタクト抵抗が増えたりして、レーザ素子の駆動電圧が増大してしまう。

【0184】本願発明者は種々検討を重ねた結果、例えば、n型Al_{0.14}Ga_{0.86}Nとn型Ga_{0.95}Nとからなるn型超格子クラッド層16Aの比抵抗は単層のn型Ga_{0.95}Nの比抵抗とほぼ同等となるという知見を得ている。これは超格子半導体層に生成される2次元電子ガスの移動度が大きいためである。さらに、本願発明者は、超格子を構成する単位層の厚みを十分に小さく、例えば2nm程度とすることにより、コンタクト抵抗がn型Ga_{0.95}N層と同等とできるという知見をも得ている。このとき、n型不純物のドーピング濃度を1×10¹⁸ cm⁻³程度としている。

【0185】これにより、Al₁GaNとGa_{0.95}Nとを超格子構造とすることにより、Al₁GaNの低屈折率を生かしながら、同時に低抵抗化をも実現でき、低電圧化を確実に達成できる。

【0186】なお、超格子層は、アルミニウムの平均組成が2%で且つ膜厚がλ/(4n)以下が好ましい。ここで、λは光の波長であり、nは単位層の屈折率である。

【0187】さらに、本実施形態によると、図17に示す選択成長層14Aの低屈折率領域14cは、原子間力顕微鏡(Atom-Force-Microscopy: AFM)による測定によって、一様なステップフロー成長が確認されており、表面は良好な平坦性を有している。その結果、インジウムを含むMQW活性層18の成長時に、インジウムの局所的な堆積が生じにくくなるので、しきい値電流を低減することができる。

【0188】また、基板11にサファイアを用いたが、サファイアに代えて、例えば炭化ケイ素、ネオジムガレート(NGO)又は窒化ガリウム等を用いてもよい。【0189】また、シード層12の凸部12aの凸部12aの形成にリフトオフ法を用いたが、凸部12a及び溝部12bが形成でき、溝部12bの少なくとも底面にマスク膜13が残る方法であれば、他の方法を用いてもよい。

【0190】また、マスク膜13は、空腔部12cが形成されればよく、溝部12bの底面上にのみ形成してもよい。

【0191】また、マスク膜13には、ECRスパッタ法による窒化シリコンや酸化シリコン等の誘電体を用いても良く、さらに好ましくは、タンダステン等の高融点金属やそのシリサイド化合物を用いると良い。

【0192】(第4の実施形態) 以下、本発明の第4の実施形態について図面を参照しながら説明する。

【0193】図18は本発明の第4の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の断面構成を示している。図18において、図1に示す構成部材と同一の構成

51

【02571】第3の実施形態との構成上の相違点のみを説明する。

【02581】図27に示すように、サブファイアからなる基板111には、第1のシード層12A及び第2のシード層12Bが設けられている。

【02591】第1のシード層12Aの上には、ストライプ状の凸部12a及び溝部12bが基板111の上面に対して平行に、すなわち、積層体30の上面に対して平行に設けられている。同様に、第2のシード層12Bの上には、ストライプ状の凸部12a及び溝部12bが、第1のシード層12Aの凸部12a及び溝部12bと平行で且つ基板面に垂直な方向で重ならないように設けられている。

【02601】以下、前記のように構成された半導体レーザ素子の製造方法について図面を参照しながら説明する。

【02611】図28(a)、図28(b)～図31は本発明の第6の実施形態に係る半導体レーザ素子の製造方法であって、基板の上面における工程順の断面構成を示している。

【02621】まず、図28(a)に示すように、MOVPE法により、C面を主面とする基板111上に、基板温度を約530℃に設定し、例えば圧力が約300Torrの水素と窒素との混合雰囲気として、III族元素のNH₃とを供給して、Ga_{0.4}Nからなる低温パツア層を堆積する(図示せず)。続いて、基板温度を約970℃に設定し、TMG、NH₃及びSi₃H₈を基板111上に供給することにより、厚さが0.5μm～1.4μm程度のn型Ga_{0.4}Nからなる第1のシード層12Aを成長させる。このとき、第1のシード層12Aを成長させており、転位密度は10⁸cm⁻²以下である。

【02631】次に、図28(b)に示すように、第1のシード層12A上にレジスト膜を塗布した後、塗布したレジスト膜をフォトリソグラフィ法により、ストライプ方向が第1のシード層12AのM軸方向と一致するパターンニングを行なう。レジストパターン40を形成する。続いて、レジストパターン40をマスクとして、第1のシード層12Aに対してドライエッチングを行なうことにより、第1のシード層12Aの上面に、断面幅が約3μm～6μmの凸部12aと断面幅が約12μm～24μmの溝部12bとを一周期とする周期構造を形成する。このとき、溝部12bの深さを50nm～1μm程度としている。

【02641】次に、図29(a)に示すように、ECRスパッタ法を用いて、第1のシード層12Aにおける溝部12bの底面及び壁面とレジストパターン40上に、窒化シリコンからなるマスク膜13を堆積する。ここで、シリコンの原料には、固体シリコンを用い、反応性ガスには窒素を用い、プラズマガスにはアルゴンを用い

【02651】次に、図29(b)に示すように、レジストパターン40に対してリフトオフを行なう。レジストパターン40及びその上のマスク膜13を除去する。なお、マスク膜13は、溝部12bの壁面の全面を覆っていても良く、壁面の一部を覆っていても良い。

【02661】次に、図30(a)に示すように、再度MOVPE法を用いて、例えば圧力が約100Torrの水素と窒素との混合雰囲気とし、基板温度を約1000℃にまで昇温した後、TMG、NH₃及びSi₃H₈を第1のシード層12Aの上面に供給することにより、第1のシード層12Aのマスク膜13から露出した領域を堆積品として、n型Ga_{0.4}Nからなる第2のシード層12Bを成長させる。このとき、第2のシード層12Bは、各凸部12aの頂面から上方に成長すると共に、基板面に平行な方向にも成長して、隣接する溝部12bの両側から成長してきた結晶同士が互いに向かい合う側面が溝部12bのほぼ中央部で接合して接合部12cを形成する。これにより、複数の凸部12aの頂面から成長する各結晶同士は一体化されて、上面がC面からなる第2のシード層12Bの厚さは、溝部12bの幅寸法等に応じて、約2μm～6μmである。

【02671】第2のシード層12Bにおける接合部12cを除く選択成長領域では、転位密度が約1×10⁶cm⁻²程度の貫通転位が観測されるのに対し、接合部12cでは、C面内に平行な転位密度が約4×10⁷cm⁻²の結晶転位が観測される。

【02681】また、第2のシード層12Bにおける凸部12aの上側部分のC軸と空隙部12c上の領域のC軸とのチャル角は0.01度～0.03度である。

【02691】このように、本実施形態に係るELO成長法が従来のELO成長と比較してチャル角が極めて小さくなるのは、ELO成長した結晶である第2のシード層12Bが第1のシード層12aと接触しておらず、マスク膜13との界面で従来のようなストレスが発生しないからである。

【02701】なお、接合部12cの下側に、空隙部12c側に開口する逆V字状のボイドが現われる。

【02711】さらに、本実施形態においては、第2のシード層12Bの選択成長を行なう際に、溝部12bの底面上に多結晶が析出したとしても、第1のシード層12Aの上面に設けた凸部12a及び溝部12bにより形成される段差によって多結晶が第2のシード層12Bと接触しないため、レーザ構造を含む積層体30の結晶品質に悪影響を及ぼすことはない。その結果、積層体30から形成されるレーザ素子の動作特性のばらつきを低

53

減でき、歩留まりを向上させることができる。

【02721】次に、図30(b)に示すように、成長した第2のシード層12Bの上面に、凸部12a及び溝部12bを一周期とする周期構造を、第1のシード層12Aと同様の方法で形成する。このとき、第2のシード層12Bの凸部12aを、その頂面の位置が第2のシード層12Bの底面領域域の上に位置するように形成することが好ましい。すなわち、第2のシード層12Aの凸部12aの頂面の位置が、第1のシード層12Aの凸部12aの頂面の位置と基板面方向に異なり且つ接合部12cの側方領域域に形成する。

【02731】これにより、第2のシード層12Bにおける、第1のシード層12Aの空隙部12c上に位置する低転位密度領域を堆積品として、2回目のELO成長を行なえるようになる。なお、窒化ガリウム系結晶は可視光によって透明であるため、光学顕微鏡により凸部12aと溝部12bとを容易に識別することができ、フォトリソグラフィ法によるストライプパターンを持つ凸部12aの位置決めを行なう際に、専用のアライメントパターンを用いる必要はない。

【02741】次に、図31に示すように、MOVPE法を用いて、例えば、圧力が約100Torrの水素と窒素との混合雰囲気とし、基板温度を約1000℃とし、第2のシード層12Bの上面に、マスク膜13から露出する凸部12aの頂面に現れたC面を堆積品として、n型AIGaNからなる主面がC面からなる選択成長領域14aを一体化させるまで成長させる。これにより、選択成長領域14aは周期的に形成される接合部14aを除くすべて上の領域で転位密度が約1×10⁶cm⁻²と小さくなる。

【02751】続いて、圧力が約300Torrの水素と窒素との混合雰囲気とし、基板温度を約970℃とし、一体化された選択成長領域14aの上面に、n型超格子クラッド層16A、n型光ガイド層17、MQW活性層18、p型光ガイド層19、p型クラッド層20及びp型コンタクト層21を順次成長して積層体30を形成する。ここで、MQW活性層18は基板成長が400nm帯となるレーザ発振を得るために、例えば、厚さが約4nmのGa_{0.4}Al_{0.6}Nからなる非戸層と厚さが約6nmのGa_{0.4}Nからなるバリア層とにより構成している。

【02761】その後、図27に示すように、ドライエッチング法により、p型クラッド層20の上面及びp型コンタクト層21に対して、MQW活性層18に選択的に電流を注入する。幅が2μm～5μmのリング部31を積層体30のA軸方向、すなわち凸部12aのストライプ方向と直交する方向に形成する。

【02771】続いて、積層体30におけるリング部31を含む領域に対してドライエッチングを行なう。n型超格子クラッド層16Aを露出した後、積層体30の露出面に絶縁膜22を堆積する。続いて、絶縁膜22

における、リング部31の上面の領域及びn型超格子クラッド層16Aの上面の領域にそれぞれ開口部を設けた後、蒸着法又はスパッタ法等により、リング部31における絶縁膜22の開口部分から露出領域上及びリング部31の周辺部上にp型絶縁膜23を形成し、n型超格子クラッド層16Aの絶縁膜22から露出領域上にn型絶縁膜24を形成する。

【02781】次に、図30(b)の上面、すなわちサブファイアからなる基板111の上面でへき開することにより、共振器端面を形成する。サブファイアのM面はへき開が容易であり、半導体レーザ素子のへき開の歩留まりを良好に維持できる。なお、基板111と積層体30との間には、へき開面と平行に行なわれる多数で且つ2段階構成の空隙部12cが存在するが、これらの空隙部12cによってへき開の歩留まりが低下することはない。

【02791】次に、へき開した両端面に適當な反射率を得られるように誘電体等によりコーティングを施し、チップ状に分離して図27に示す半導体レーザ素子を実現できる。

【02801】第6の実施形態に係る半導体レーザ素子は、MQW活性層18を含む積層体30のA軸方向に形成された共振器と、選択成長により形成されるM軸方向に延びるストライプ状の空隙部12cとが直交するように設けられていることを特徴とする。

【02811】但し、このようにすると、図31から分かるように、MQW活性層18のリング部31の長軸方向である電流注入領域は、各半導体層の接合部14aを横切ることになる。その結果、接合部14aに集中する転位がレーザ素子の動作に影響を与える虞がある。ところが、MQW活性層18の内部の転位を観測すると、貫通転位は接合部14aと空隙部12cの両方に均一に約1×10⁶cm⁻²の密度で存在することを確認している。従って、電流注入領域が接合部14aを横切っていることは半導体レーザ素子の信頼性に悪影響を与えることはない。

【02821】また、結晶である第2のシード層12Bと選択成長領域14aとの間でC軸にチャル角が存在すると、A軸方向に形成された共振器の場合は、基板面に対して垂直な方向にうねるジグザグ導波路となつて導波損失を招く。その結果、レーザ素子の動作電流が増加する虞がある。たしかに、図38に示すような従来のELO成長法を用いて製造したレーザ素子ではチャル角が0.1度以上もあり、例えば空隙部12cの幅が12μm程度とすれば、高低差が10nm以上のジグザグ導波路となるため、レーザ素子の動作電流が増加する。

【02831】一方、チャル角が0.05度以下であると、高低差は5nm程度に抑えられるため、ジグザグ導波路の影響をほとんど無視できる。本実施形態においては、明のレーザ素子では空隙部12cを形成しながら成長するラテラル成長により、チャル角を0.03度以下に抑えることができるので、ジグザグ導波路の発生を防

領域に形成することが半導体レーザ素子の特性の向上を
図る上で必須となる。
【0309】図36(a)は複数のリッジ部311のう
ち、電流注入用として適当なリッジ部311を示した例で
ある。○印を付したリッジ部311は、凸部12aと被合
部14aとの間にあって、最も転位密度が低い領域に位
置している。これは逆に、×印を付したリッジ部311
は高転位密度領域上に位置している。
【0310】従って、図35に示した、n型コンタクト
層15を露出するエッチング工程において、○印を付し
たリッジ部311を電流注入用のリッジ部311Aとして残
しておく必要がある。
【0311】そこで、本実施形態においては、図36
(b)に示すように、リッジ部311Aとダミーリッジ部
311Bとを容易に11つ順次に選択できるように、以下の
ような方法を探る。
【0312】あらかじめ、第2の形成段階(パターン
B)を持つリッジ部311A及びダミーリッジ部311Bを
区別できるように番号等を付けておく。ここでは、番
号2を付したリッジ部311を電流注入用のリッジ部311A
とする。
【0313】一方、ウェハ上には、リッジ部311ごとに
付された番号と対応するように、例えば、基板11上に
おけるレーザ素子同士の間のへき間領域等に、含むマ
ーク(=アライメントパターン)を設けておく。本実施
形態の場合は、第1の形成段階(パターンA)と第2の
形成段階(パターンB)との差は2μmであるため、パ
ターンBを8回繰り返す、互いに近接するリッジ部311
と凸部12aとの互いの位置関係が同一となる。従っ
て、少なくとも8個の合わせマークを用意すれば、番号
1〜8の間には、○印を付すことができるリッジ部311
が少なくとも1つ存在することになる。
【0314】従って、図35に示したエッチング工程に
おいては、一例として、積層体30における番号3のダ
ミーリッジ部311Bと番号4のダミーリッジ部311Bと
の間の領域に、フォトマスクの境界を合わせれば、電流
注入用のリッジ部311Aを保持することができる。
【0315】また、p型電極層3を形成する際に絶縁膜
22に対して開口部を形成するエッチングの際にも、番
号2が付されたリッジ部311Aを容易に認識できる。
【0316】なお、レーザ素子のチップ幅は約300μ
m〜500μmであるため、番号1〜8の第3の周期が
1回でなく、2、3回現われる。
【0317】さらに、シード層12と選択成長層14と
の間にストライプ状の埋め部12cが形成されているこ
とによる、マスクの位置合わせ時に生じる効果について
説明する。この効果は、シード層12の上部に設けた半
導体12c同士の間の凸部12aの頂面をELO成長の
核結晶に用いることから生じている。すなわち、転位が
少ないリッジ部311を選択するには、光学顕微鏡等を用

マスク膜13は、溝部12bの壁面を覆っていてもよ
く、覆ってなくてもよい。
形態と同様に、シード層12の上に、マスク膜13から
露出する凸部12aの頂面に現われるC面を核結晶とし
て、選択成長層14及び積層体30を順次成長させる。
【0303】次に、図34に示すように、p型クラッド
層20の上部及び凸部12aの第2の形成段階を持
つリッジ部311A及びダミーリッジ部311Bを形成す
る。ここでは、電流注入用のリッジ部311Aは、空腔部
12cの上方で且つ被合部14aと重ならない領域、す
なわち、結晶転位が少ない低転位密度領域に形成する。
その後、ECRスパッタ法により、アルゴン等を雰囲気と
し、金属アルミニウム及び電線を原料として、リッジ部
311A及びダミーリッジ部311Bの側面及びその間の傾
斜を酸化アルミニウム(AIN)からなる絶縁膜35で
覆う。
【0304】次に、図35に示すように、積層体30に
おけるリッジ部311Aを含まない領域に対して、ドライ
エッチングを行なって、n型コンタクト層15を、n型
クラッド層16によるダミーリッジ部311が形成される
からなる絶縁膜22を堆積する。
【0305】次に、図32に示すように、四酸化炭素
(CF₄)を用いた反応性イオンエッチング(RIE)
により、絶縁膜22における、リッジ部311Aの上側及
び側方部分、並びにn型コンタクト層15における1つ
のダミーリッジ部311Bの上側及び側方部分にそれぞれ
開口部を設ける。その後、リッジ部311A及びその側方
における絶縁膜22の開口部からの露出領域上にp側電
極23を形成すると共に、n型コンタクト層15の上に
おけるダミーリッジ部311B及びその側方における絶縁
膜22の開口部からの露出領域上にn側電極24を形成
する。なお、絶縁膜22におけるリッジ部311Aの上側
及び側方部分を除去する際に、絶縁膜22の下側に形成
されている絶縁膜35も多少はエッチングされるが、注
入電流に対する電流効率及び水平模モード制御に影響が
ない程度であれば無視してもよい。
【0306】以上のようにして得られた半導体レーザ素
子は、厚さが約9nmのGaAs In_{0.1}Nからなる井
戸層と厚さが約6nmのGa_{0.4}Nからなるバリア層とから
構成されたMQW活性層18により、波長が約403nm
のレーザ放射を起す。
【0307】以下、本実施形態に係る半導体レーザ素子
の製造方法の概略であるリッジ部311A及びダミーリッ
ジ部311Bと凸部12aとの位置合わせ方法を図面に基
づいて説明する。
【0308】前述したように、図32において、電流注
入用のリッジ部311Aは積層体30における低転位密度

2aにおけるマスク13により覆われていない領域のう
ちのC面を核結晶として、空腔部12cが形成される方
法であればよい。
【0293】また、マスク膜13は、酸化シリコンに限
らず、第1の実施形態及びその第1の変形例に示した誘電
体、非晶質の絶縁体、高融点金属又は高融点金属化合物を
用いることが好ましい。なお、誘電体膜の堆積にはEC
Rスパッタ法を用いることにより、低歪で良質のマスク
膜13を得ることができる。
【0294】また、本実施形態に係る低転位密度領域を
有する酸化半導体層を用いることにより、光素子に
限らず、電子素子等の他の半導体素子も形成しても良
いと実現できる。
【0295】(第7の実施形態) 以下、本発明の第7の
実施形態について図面を参照しながら説明する。
【0296】図32は本発明の第7の実施形態に係る窒
化ガリウム系半導体レーザ素子の断面構成を示してい
る。図32において、図1に示す構成部材と同一の構成
部材には同一の符号を付すことにより説明を省略する。
【0297】図32に示すように、第7の実施形態に係
る半導体レーザ素子は、シード層12の上部に設けられ
たELO成長用の核結晶となり且つ第1の形成段階を持
つストライプ状の凸部12aと、積層体30の上部に設
けられ、電流注入用の1つのリッジ部311A及びダミーリ
ジ部311Aの位置合わせ用の複数のダミーリッジ部311
Bとを有している。これらリッジ部311A及びダミーリ
ジ部311Bは、凸部12aと同一の方向に延び、且
つ、第1の形成段階と異なる第2の形成段階を持つよう
に形成されている。
【0298】以下、前記のように構成された半導体レー
ザ素子の製造方法について図面を参照しながら説明す
る。
【0299】図33〜図35は本発明の第7の実施形態
に係る半導体レーザ素子の製造方法の工程順の断面構成
を示している。
【0300】まず、図33に示すように、MOVPE法
を用いて、第1の実施形態と同様に、第1のサファイア
からなる基板11上にGa_{0.4}Nからなるシード層12を成
長し、レジスト膜を用いたフォトリソグラフィ法及びド
ライエッチング法により、成長したシード層12の上部
に、リッジ部311Aの凸部12aを形成する。ここ
では、一例として、凸部12aの断面幅を約4μmと
し、溝部12bの断面幅を約12μmとして、第1の形
成段階を16μmとしている。
【0301】次に、ECRスパッタ法を用いて、凸部1
2aが形成されたシード層12の上に全面にわたって、
酸化シリコンからなるマスク膜13を堆積し、続いて、
レジスト膜をリフトオフすることにより、凸部12aの
少なくとも頂面をマスク膜13から露出する。ここで、

止できる。
【0284】また、選択成長層14Aにおけるラテラル
成長した領域において、一様なステップアップ成長を現
察している。このような平坦な表面上にMQW活性層1
8を成長すると、インジウム(I)の局所的な偏析が起こら
ず、均質なMQW活性層18を得られるので、動作電流
の低減を図ることができる。
【0285】また、本実施形態に係る半導体レーザ素子
における基板面に垂直な方向の透視野像は図16に示す
グラフと同等であって、単峰性で良好な光強度分布を得
られている。
【0286】これは、第3の実施形態と同様に、第2の
シード層12Bの凸部12aの頂面に成長して一体
化された選択成長層14Aにn型AlGa_{0.4}Nを用いる共
に、n型AlGa_{0.4}Nとn型Ga_{0.4}Nを含む超格子構造を
持つn型超格子クラッド層16Aがn型コンタクト層を
兼ねている。これにより、MQW活性層18の光の閉じ
込め係数値が大きくなるからである。
【0287】前述したように、選択成長層14Aのアル
ミニウムの組成は、2%以上、好ましくは4%以上とす
ると、光の基板11側への漏れを確実に防止することが
できる。
【0288】なお、本実施形態においては、第1及び第
2のシード層12A、12BにGa_{0.4}Nを用いたが、一般
式Al_uGa_vIn_wN_{1-u-v-w}(但し、u, v, wは、0 ≤
u, v, w ≤ 1, u+v+w=1である。)からなる窒
化ガリウム系組成、特にAlGa_{0.4}N又はGaInN等を
用いると良く、混晶の組成に応じてラテラル成長に最適
な成長条件を選べばよい。
【0289】また、第1のシード層12Aは、低歪ペッ
ク層を介して形成したが、第1のシード層に単結晶が
得られる方法を用いればよい。
【0290】また、基板11にサファイアを用いたが、
サファイアに代えて、例えば酸化ケイ素、ネオジムガラ
ート(NGO)又は酸化ガリウム等を用いてもよい。但
し、酸化ケイ素を基板11に用いると、積層体30に引
き張り歪みが加わり、クラッキングが発生しやすいため、溝
部12bの断面幅をできるだけ小さくすることにより、第
2のシード層12Bが一体化されたときの膜厚が2μ
m未満となるようにすることが望ましい。このようにす
ると、2回の選択成長及び積層体30の成長を行なった
後でも積層体30にクラッキングが生じない。
【0291】このため、基板11の材料に無関係に3回
以上の選択成長は無意味であり、さらに、歪みに起因
する新たな不具合を生じるので好ましくない。
【0292】また、第1及び第2のシード層12A、1
2Bの各上部の凸部12aを形成する際にフォトリソ法
を用いたが、凸部12a及び溝部12bが形成でき、該
溝部12bの少なくとも底面にマスク膜13が残る方法
であれば、他の方法を用いてもよい。すなわち、凸部1

59

いて上方から観察する際に、積層体30における低密度領域を特定できなくてはならない。本実施形態においては、図32に示すように、空腔部12cによって、観察光の屈折率差が大きくなるため、凸部12a（高転位密度領域）の位置が明確となるので、凸部12aと接合部14aとの間に位置する電流注入用のリッジ部31Aの候補となるリッジ部31を容易に且つ確実に区別できるようになる。その結果、フォトリソグラフィ工程におけるマスクの位置合わせが容易となり、フォトリソグラフィ工程のスループットを向上でき、

10

【図318】なお、本実施形態においては、凸部12aの第1の形成周期と、リッジ部31の第2の形成周期とをいずれも一定の周期としたが、必ずしも一定である必要はなく、各形成周期が互いにずれないように構成できればよい。例えば、各形成周期が等差数列を満足するような数列群を構成していてもよい。

【図319】また、絶縁膜35に酸化アルミニウムを用い、絶縁膜22に酸化シリコンを用いたが、絶縁膜22のエッチングの際に、絶縁膜35に対してエッチング選別が十分に大きければ良く、これらの代わりに、例えば、絶縁膜35が酸化シリコンで且つ絶縁膜22が酸化シリコンであったとしてもよい。また、絶縁膜22に対するエッチングはウェットエッチングでもドライエッチングでもよい。

【図320】また、基板11にサファイアを用いたが、サファイアに代えて、例えば炭化ケイ素、ネオジウムガレート（NGO）又は酸化ガリウム等を用いてもよい。

20

【図321】また、マスク膜13には、ECRスパッタ法による酸化シリコンや酸化シリコン等の誘電体を用いても良く、さらに好ましくは、タンダステン等の融点金属やそのシリサイド化物を用いると良い。

【図322】また、シード層12の上部の凸部12aを形成する際にリフトオフ法を用いたが、凸部12a及び溝部12bが形成できる方法であればよい。

30

【図323】また、本実施形態に係る、互いに周期が異なる2種類の周期構造体を用いる方法は、従来のELO成長法等にも適用できる。

【図324】

【発明の効果】本発明の酸化物半導体の製造方法によると、ELO成長する選択成長層が、ELO成長時のマスク膜の上に析出する多結晶体の影響を受けなくなると、選択成長層及びその上に成長する積層体の結晶の品位が向上する。従って、本発明の酸化物半導体を用いた酸化物半導体素子の動作特性及び信頼性を向上できる。

40

【図325】また、マスク膜の上に析出する多結晶体の影響を受けなくなるするための凸部同士の間を壁面とする空腔部により、光閉じ込め係数値を向上でき、

【図326】また、空腔部を設けることにより、共振器端面を自然形成でき、共振器端面をへき間面としなくとも済み、また、選択成長層の結晶成長軸のチルトを低

60

減でき、マスクの位置合わせをも容易に行えるようになる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施形態に係る酸化ガリウム系半導体レーザ素子を示す構成断面図である。

【図2】(a)及び(b)は本発明の第1の実施形態に係る酸化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図3】(a)及び(b)は本発明の第1の実施形態に係る酸化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図4】本発明の第1の実施形態に係る酸化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図5】本発明の第1の実施形態に係る酸化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す模式的な断面図である。

【図6】(a)～(d)は本発明の第1の実施形態に係る酸化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法の特徴を段階的に示す模式的な断面図である。

【図7】本発明の第1の実施形態の第1変形例に係る酸化ガリウム系半導体レーザ素子の選択成長層の室温におけるフォトリソグラフィ工程の、第1の実施形態と比較した結果を示すグラフである。

【図8】本発明の第1の実施形態の第2変形例に係る酸化ガリウム系半導体レーザ素子を示す構成断面図である。

【図9】本発明の第2の実施形態に係る酸化ガリウム系半導体レーザ素子を示す構成断面図である。

【図10】(a)及び(b)は本発明の第2の実施形態に係る酸化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図11】本発明の第2の実施形態に係る酸化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図12】本発明の第2の実施形態に係る酸化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図13】本発明の第2の実施形態に係る酸化ガリウム系半導体レーザ素子から出射されるレーザ光の共振器端面に平行な方向における遠視野像を示すグラフである。

【図14】本発明の第3の実施形態に係る酸化ガリウム系半導体レーザ素子を示す構成断面図である。

【図15】本発明の第3の実施形態に係る酸化ガリウム系半導体レーザ素子のリッジ部における基板と垂直な方向の屈折率分布と、共振器端面の光強度分布との関係を示すグラフである。

【図16】本発明の第3の実施形態に係る酸化ガリウム系半導体レーザ素子から出射されるレーザ光の共振器端面に平行な方向における遠視野像を示すグラフである。

61

【図17】本発明の第3の実施形態に係る酸化ガリウム系半導体レーザ素子における積層体30を形成する前の選択成長層の光強度像による平面写真と、それと対応する構成断面図である。

【図18】本発明の第4の実施形態に係る酸化ガリウム系半導体レーザ素子を示す構成断面図である。

【図19】(a)は本発明の第4の実施形態に係る酸化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法における選択成長層を模式的に表わした断面構成図である。(b)は第2の従来例に係る酸化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法における選択成長層機構を模式的に表わした断面構成図である。

【図20】(a)は本発明の第4の実施形態に係る酸化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法において選択成長層を2段階で形成する効果を示す部分的な断面図である。(b)は比較例であって、酸化ガリウム系半導体レーザ素子の選択成長層の側面にうねりが生じる様子を示す部分的な断面図である。

【図21】(a)～(d)は本発明の第4の実施形態に係る酸化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法の特徴を段階的に示す模式的な断面図である。

【図22】本発明の第5の実施形態に係る酸化ガリウム系半導体レーザ素子における積層体のM面、すなわち基板のA面における構成断面図である。

【図23】本発明の第5の実施形態に係る酸化ガリウム系半導体レーザ素子を示し、図22のXXIII-XXIII線における構成断面図である。

【図24】本発明の第5の実施形態の第1変形例に係る酸化ガリウム系半導体レーザ素子における積層体のM面、すなわち基板のA面における構成断面図である。

【図25】本発明の第5の実施形態の第2変形例に係る酸化ガリウム系半導体レーザ素子における積層体のM面、すなわち基板のA面における構成断面図である。

【図26】本発明の第5の実施形態の第3変形例に係る酸化ガリウム系半導体レーザ素子における積層体のM面、すなわち基板のA面における構成断面図である。

【図27】本発明の第6の実施形態に係る酸化ガリウム系半導体レーザ素子における積層体のA面、すなわち基板のM面における構成断面図である。

【図28】(a)及び(b)は本発明の第6の実施形態に係る酸化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図29】(a)及び(b)は本発明の第6の実施形態に係る酸化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図30】(a)及び(b)は本発明の第6の実施形態に係る酸化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図31】本発明の第6の実施形態に係る酸化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図32】本発明の第6の実施形態に係る酸化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図33】本発明の第7の実施形態に係る酸化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図34】本発明の第7の実施形態に係る酸化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

62

【図35】本発明の第7の実施形態に係る酸化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図36】(a)及び(b)は本発明の第7の実施形態に係る酸化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図37】本発明の第7の実施形態に係る酸化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図38】本発明の第7の実施形態に係る酸化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図39】本発明の第7の実施形態に係る酸化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図40】(a)～(d)は第2の従来例に係る酸化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法における結晶成長の様子を段階的に示す模式的な断面図である。

【図41】第1の従来例に係る酸化ガリウム系半導体レーザ素子のリッジ部における基板と垂直な方向の屈折率分布と、共振器端面の光強度分布との関係を示すグラフである。

【図42】第1の従来例に係る酸化ガリウム系半導体レーザ素子の遠視野像を示している。

【図43】第1の従来例に係る酸化ガリウム系半導体レーザ素子における基板と共振器のへき間面を示す模式的な断面図である。

【符号の説明】

11 基板

11a 凸部

11b 溝部

12 シード層

12a 凸部

12b 凹部（溝部）

12c 空腔部

13 マスク膜

14 選択成長層

14a 接合部

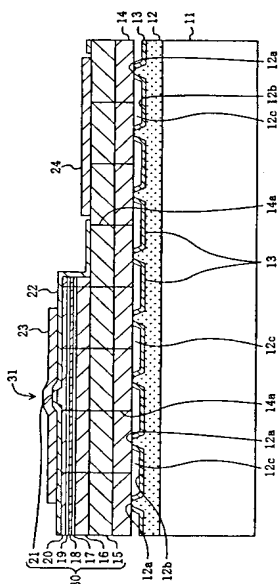
14b 高転位密度領域

63

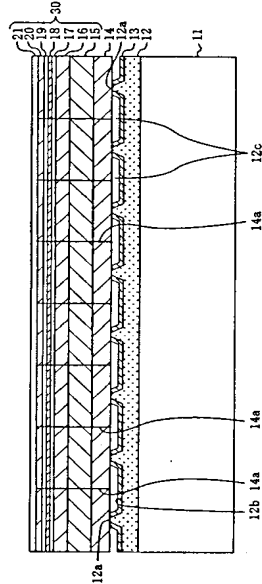
64

- | | | | |
|-----|------------------|-----|----------|
| 14c | 低転位密度領域 | 22 | 絶縁膜 |
| 14d | うねり | 23 | p側電極 |
| 14A | 選択成長層 | 24 | n側電極 |
| 14B | 第1の選択成長層 | 25 | p側配線電極 |
| 14C | 第2の選択成長層 | 26 | n側配線電極 |
| 15 | n型コンタクト層 | 30 | 積層体 |
| 15a | 接合部 | 31 | リッジ部 |
| 15A | n型超格子コンタクト層 | 31A | リッジ部 |
| 16 | n型クラッド層 | 31B | リッジ部 |
| 16A | n型超格子クラッド層 | 10 | 32 |
| 17 | n型超格子クラッド層 | 34 | 選択成長シート層 |
| 18 | 多重量子井戸 (MQW) 活性層 | 35 | 絶縁膜 |
| 19 | p型クラッド層 | 40 | レジストパターン |
| 20 | p型クラッド層 | 41 | 多結晶体 |
| 21 | p型コンタクト層 | | |

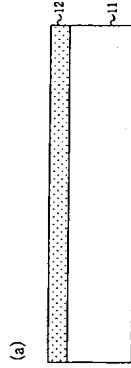
【図1】



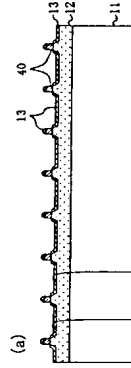
【図4】



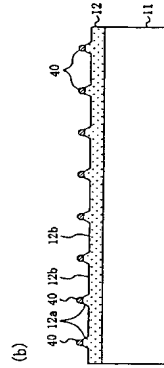
【図2】



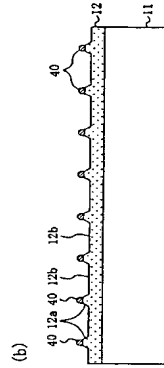
【図3】



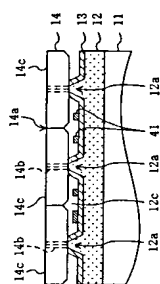
(b)



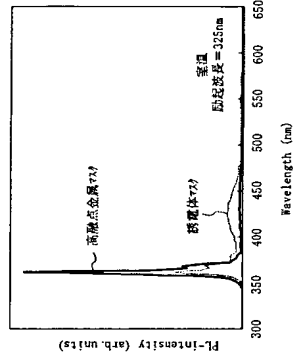
(b)



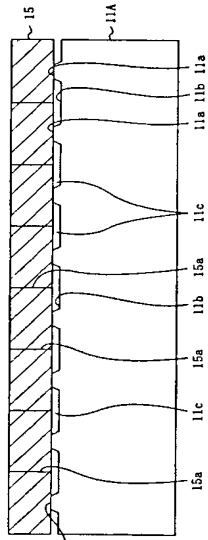
【図5】

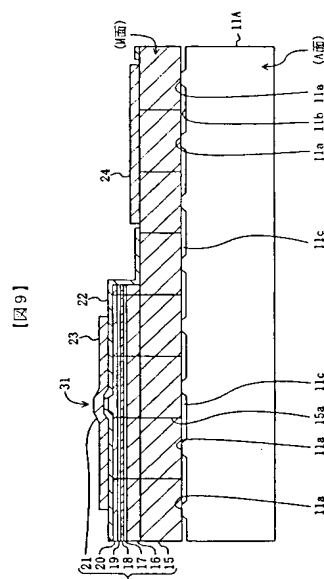


【図7】

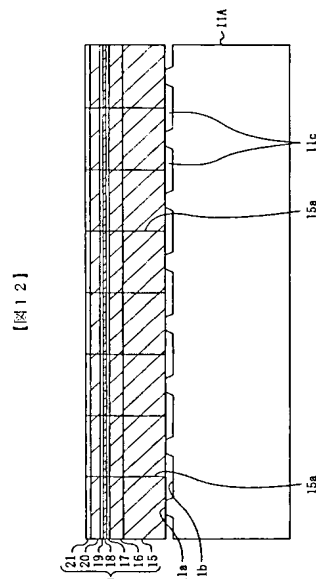


【図11】

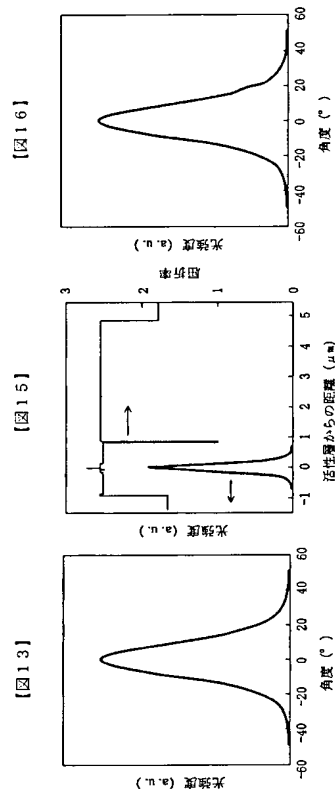




【図9】



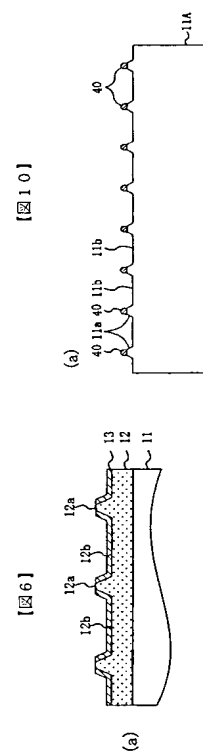
【附 12】



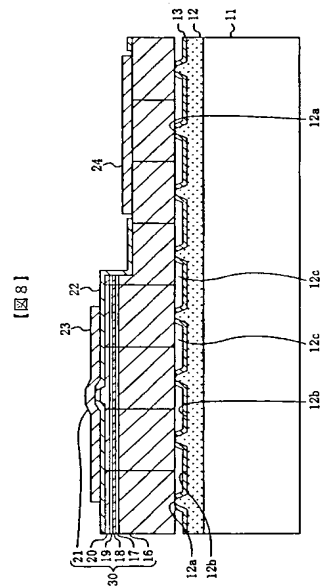
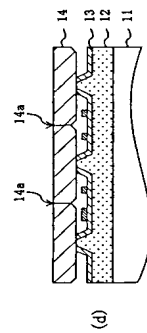
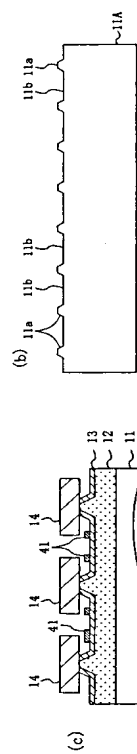
【☒13】

【图15】

【916】

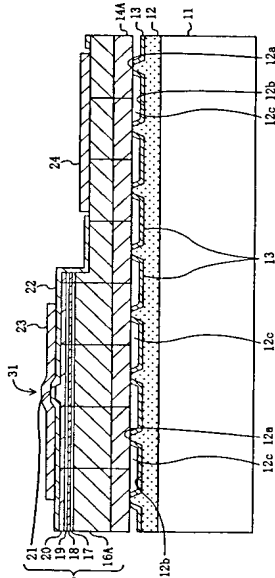


【図10】

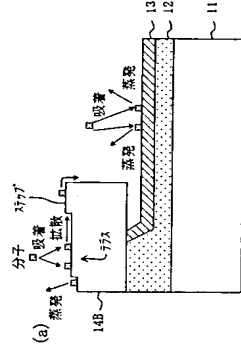


【8】

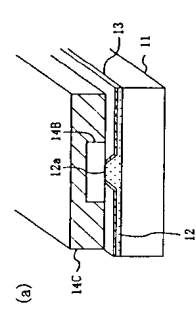
【図14】



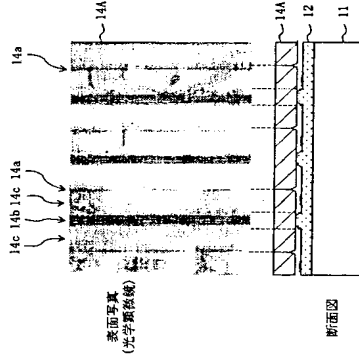
【図19】



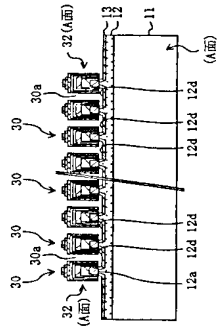
【図20】



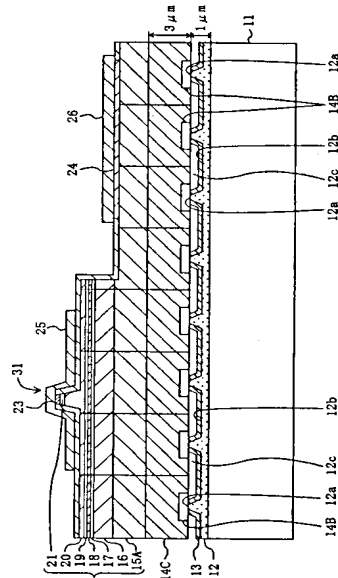
【図17】



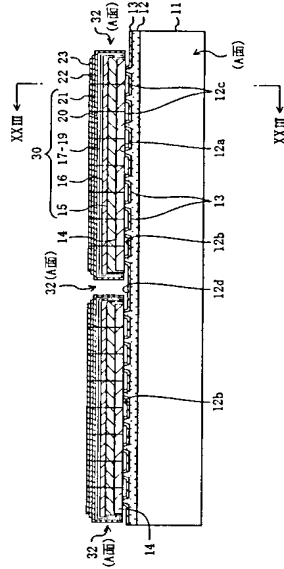
【図25】



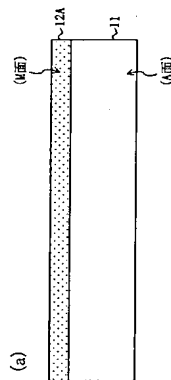
【図18】



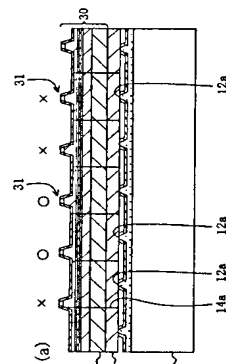
【図22】



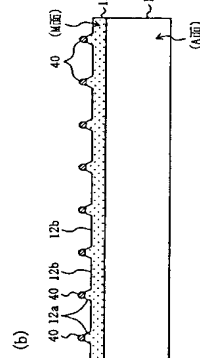
【図 28】



【図 36】

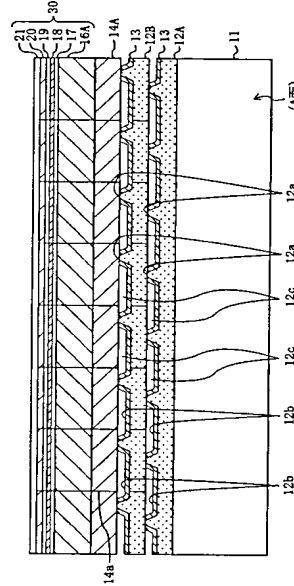


(a)

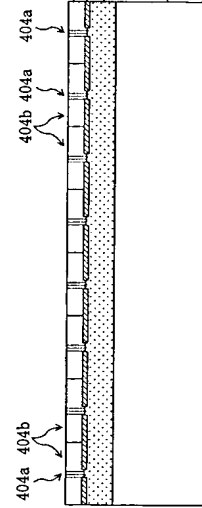


(b)

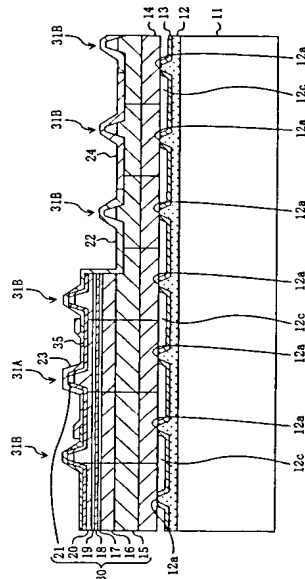
【図 31】



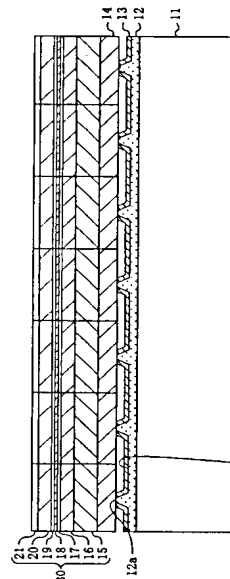
【図 38】



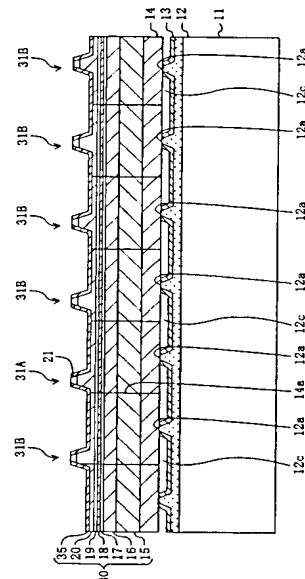
【図 32】



【図 33】



【図 34】



特開 2002-9004

(45)

(72) 発明者 長谷川 義晃
大阪府門真市大字門真1005番地 松下電器
産業株式会社内

F ターム(参考) 5F041 AA40 CA04 CA05 CA34 CA40
CA46 CA65 CA67 CB02 FF16
5F045 AA04 AA19 AB14 AB17 AB18
AB31 AB32 AC01 AC08 AC12
AC19 AF09 AF12 AF13 BB12
CA10 CA12 DA53 DA54 DB02
DB06
5F073 AA11 AA13 AA45 AA55 AA74
CA07 CB05 CB07 DA05 DA07
DA35 EA29